Amatérské RADIO

ŘADA B - PRO KONSTRUKTÉRY

ČASOPIS PRO ELEKTRONIKU
ROČNÍK XLIII/1994 • • ČÍSLO 4

V TOMTO SEŠITĚ

AMATÉRSKÉ RADIO - ŘADA B

Vydavatel: Vydavatelství MAGNET-PRESS, s.p., Vladislavova 26, 113 66 Praha 1, telefon 24 22 73 84-9, fax 24 22 31 73, 24 21 73 15.
Redakce: Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 24 22 73 84-9. Šéfredaktor Luboš Kalousek, OK1FAC, l. 354.
Sazba: SOU polygrafické Rumburk.
Ročně vychází 6 čísel. Cena výtisku 14,80 Kč. Pololetní předplatné 44,40 Kč, celoroční předplatné 88,80 Kč.
Rozšiřuje MAGNET-PRESS a PNS, informace o předplatném podá a objednávky přijímá PNS, pošta, doručovatel a předplatitelské středisko administrace MAGNET-PRESS. Velkoodběratelé a prodejci si mohou objednat AR za výhodných podmínek v oddělení velkoobchodu MAGNET-PRESS, tel /fax. (02) 26 12 26.
Podávání novinových zásilek povoleno jak Ředitelstvím pošt. přepravy Praha (č. j. 349/93 ze dne 1. 2.1993), tak RPP Bratislava - pošta Bratislava 12 (č. j. 82/93 dňa 23. 8. 1993). Objednávky do zahraničí přijímá vydavatelství MAGNET-PRESS, OZO.312, Vladislavova 26, 113 66 Praha 1 formou bankovního šeku, zaslaného na výše uvedenou adresu. Celoroční předplatné časopisu pozemní cestou 30 DM nebo 20 US $, letecky 46 DM nebo 28 US $.
Ve Slovenské republice předplatné zajišťuje a objednávky přijímá přímo nebo prostřednictvím dalších distributorů MAGNET-PRESS Slovakia s.r.o. P.O. BOX 814 89 Bratislava, tel. (07) 39 41 67, cena za jeden výtisk v SR je 17,50 SK.
Inzerci přijímá inzertní oddělení MAGNET- PRESS, Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. (02) 24 22 73 84, 24 22 77 23, tel./fax.(02) 24 22 31 73.
Znění a úpravu odborné inzerce lze dohodnout s kterýmkoli redaktorem AR.
Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor. Nevyžádané rukopisy nevracíme.
ISSN 0139-9572, číslo indexu 46 044
Toto číslo vyšlo 20. 7. 1994

PACE SE PŘEDSTAVUJE

Doposud jsme v našem úvodníku představovali většinou firmy či společnosti, které vznikly v minulosti, ať již blízké, či "daleké".

V dnešním úvodníku si však představíme firmu, která je z hlediska svého vzniku relativně velmi mladá, neboť vešla do povědomí většiny lidí teprve s nástupem nového druhu televizního vysílání - s nástupem družicové (satelitní) televize.

V minulých letech byl ve "spotřební" vysílací technice jistě největší revolucí nástup družicového vysílání. Po období, kdy ani hustá síť televizních pozemních vysílačů nezaručovala především v členitém terénu uspokojivý příjem televizních signálů, přineslo v kvalitě televizního příjmu pro každého posluchače zásadní rozdíl vypuštění družice Astra - dnes příjem televizních a rozhlasových signálů z družic zaručuje při vhodně zvolených dílech přijímacího zařízení obraz i zvuk špičkové jakosti a to prakticky (s mírnou nadsázkou) na celém světě.

Nástup družicové televize - to byl také impuls pro vznik firmy PACE, která byla založena ve Velké Británii v roce 1982. V současnosti se tato firma s roční výrobní kapacitou kolem 1,2 miliónů přístrojů stala největším výrobcem družicových televizních přijímacích zařízení v Evropě. Přístroje firmy Pace lze najít po celém světě, ať již pod původním jménem, nebo s mnoha dalšími označeními, např. Comet, Colourvision, Granada, Norweb, Visionshire, Thorn, John Lewis a Tandy atd., které si pro výrobky Pace volí široká síť dealerů.

O rozmachu a úspěšnosti firmy Pace si lze nejsnadněji udělat představu z několika údajů: V roce 1988 byl obrat firmy asi 6,5 miliónu liber, v současném běžném finančním roce dosáhl již úctyhodné výše 112 miliónů liber. Tento úspěch, kterého firma dosáhla na jednom z nejnáročnějších světových trhů s obrovskou konkurencí, lze kromě jiného přičítat dobré marketingové filosofii, neustálým inovačním opatřením, která jsou orientována na kvalitu výroby a tím současně i na spokojenost širokého okruhu zákazníků, a na dokonalý a komplexní servis.

Pověst solidního výrobce si Pace získal i proto, že se soustřeďuje kromě modernizačních inovací především na spolehlivost svých přístrojů. Přístroje Pace jsou vyráběny v anglických závodech, v nichž je výrobní zařízení (i celý výrobní proces) na odpovídající úrovni - výjimku z pravidla, že v případě přístrojů Pace jde o čistě anglické výrobky, tvoří pouze výrobní jednotky v Polsku a Indii, které vyrábějí přístroje pro družicový příjem pro "vnitřní" prodej, neboť v obou těchto státech platí taková importní restrikční pravidla, která neumožňují uspokojivý dovoz družicových zařízení ze zahraničí.

V letošním roce firma vyváží asi 40 % svých výrobků, předpokládá se však, že v roce 1995 se export zvýší na 60 %, neboť roční přírůstek, pokud jde o množství vysílacích družic, je asi kolem 20 - trh pro odbyt družicových přijímačů se tedy neustále rozšiřuje. Firma v této souvislosti věnuje zvýšenou pozornost oblasti Středního a Dálného východu a má pro ni připraveny inovované výrobky za přijatelnou cenu.

V posledních 18 měsících se firmě také podařilo získat do vlastnictví pomocné provozy v Německu, Dánsku a Norsku a vstoupila do joint-venture s francouzským distributorem. To vše, spolu s vlastní rozsáhlou distribuční sítí po celém světě, umožnilo firmě získat všechny potřebné klíče k celosvětovému trhu družicových přijímačů.

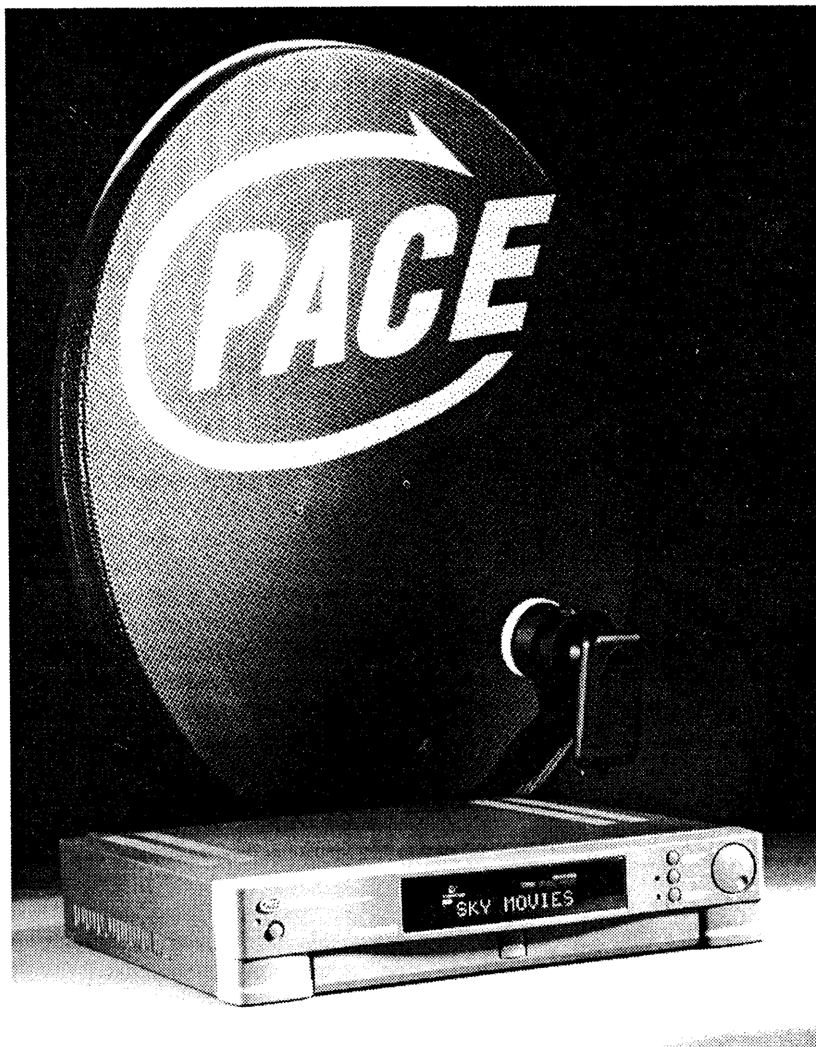
Analogové produkty

Všechny výrobky Pace jsou navrhovány i se zřetelem na budoucnost, tj. tak, aby vyhověly nejen všem dnešním nárokům na bezchybný a požadovaný příjem, ale aby stejně dobře vyhověly i v budoucnosti. Proto každý přístroj v každé ze základních řad může být doplněn přídavnými dekodéry a dalšími motorem ovládanými parabolickými anténami na sofistikovaný systém. Přitom poslední modely umožňují uložit do paměti přijímače 199 předvolených televizních nebo rozhlasových stanic a kromě toho lze výstup z přijímače naladit na libovolný volný kanál

televizního přijímače v celém rozsahu IV. a V. pásma, aby se předešlo konfliktům ve volbě vhodného kanálu při současně připojených televizních hrách, videomagnetofonu či nových "kanálů" (jako Channel 5). Vývojáři firmy Pace neustále doplňují přijímače o nejrůznější "vymoženosti", rozšiřující možnosti příjmu - typickými světovými prioritami přijímačů Pace byly např. integrovaný družicový přijímačový dekodér videocrypt s Dolby Pro Logic Surround Sound a čtyřkanálový systém SMATV pro větší počet účastníků, vhodný např. pro hotely a bloky domů (za výhodnou cenu), v neposlední řadě i výrobky, podporující zavedení systému tzv. Cryptovision Pay TV na celém světě.

Digitální technika

V posledních rocích devadesátých let se velmi rychle šířila i do oblastí, dosud vyhrazených čistě analogové technice, technika digitální. Tento jev se nevyhnul ani družicové přijímací technice - analogové vysílací technologie jsou nahrazovány novým digitálním standardem, zvaným MPEG2, který začal ve světě převládat. Pro družicové vysílače to je jasný přínos - do té doby byl např. používán na jednom družicovém transpondéru jeden kanál, po zavedení digitálního systému mohlo být na něm kanálů deset,což umožňuje podstatně bohatší nabídku programů. Aby Pace mohl přijít rychle na světový trh s novými (digitálními) přijímači, vstoupil do jednání s National Transcommunications Ltd. (NTL) s nabídkou spolupracovat na vývoji digitálního televizního přijímacího zařízení, splňujícího všechny náležitosti, potřebné k příjmu signálu digitálního standardu MPEG2. NTL byla vybrána proto, neboť je světově uznávanou "jedničkou" v technice videokomprese, která umožňuje realizovat mnohakanálovou digitální TV. Výsledkem koprodukce bude v brzké budoucnosti digitální přijímací zařízení pro profesionální i spotřební trh se zaměřením jak na dokonalý příjem z družic, tak na pozemní a kabelovou televizi.



Nejnovější řada družicových přijímačů Pace na našem trhu - MSS 1000 (popis byl v AR řady A)

Začátky firmy

Firma PACE byla založena jako importní a distribuční firma počítačového software v roce 1982. Její jméno se mezi odborníky poprvé objevilo v souvislosti s prodejem modemu jménem Nightingale, který sloužil ke komunikaci počítač-počítač po telefonním vedení mnoha jednotlivcům, malým podnikatelům i vzdělávacím zařízením a to díky své ceně - v době, kdy podobná zařízení byla nabízena na trhu za několik set liber, stál uvedený modem méně než 100 liber. Dceřiná společnost firmy, Pace Micro Communications Ltd. , vyrábějící datová komunikační zařízení pro profesionální použití, je i dnes ve svém oboru (velmi rychlé datové modemy) špičkou ve Velké Británii.

Sídlo firmy Pace v Shipley by mělo být v budoucnu "doplněno" o novou investici v hodnotě 5 miliónů liber - závodem, splňujícím standardy BS 5750 a ISO9000, který by měl umožnit vlastní výrobu pěti set tisíc přijímačů za rok, přijímačů, které za přijatelnou cenu budou mít špičkové parametry při odpovídající spolehlivosti.

Nezapomněli jste, že se neodvratně blíží uzávěrka letošního ročníku Konkursu AR na nejlepší elektronické konstrukce, dotovaná velmi zajímavými a hodnotnými cenami ? Podmínky a ceny byly uveřejněny počátkem letošního roku v AR řady A, stejně jako výsledky Konkursu 1993.

Vážení čtenáři,
pro naplnění obsahu AR řady B v příštím roce bychom uvítali nabídky na vypracování několika čísel tohoto ročníku (i ze Slovenské republiky). Bližší informace obdržíte v redakci buď při osobní návštěvě nebo na telefonním čísle (02) 26 12 74 .

FERITOVÁ JÁDRA

PRO VÝKONOVÉ POUŽITÍ V KMITOČTOVÉM ROZSAHU DO 200 kHz

Ing. Jan Petrek, Pramet a. s. Šumperk

Feritová jádra se používají dlouhou dobu, největší rozmach jejich vývoje a výroby však přineslo zavedení techniky spínaných zdrojů, jejichž výhody proti klasickým jsou nesporné. Kromě velké účinnosti a malých rozměrů i hmotnosti jsou již dnes i cenově velmi výhodné. Současný trend ve výrobě feritových materiálů je charakteristický úsilím o zvětšování rozsahu použitelných kmitočtů - jsou již dostupné materiály pro kmitočtový rozsah okolo 1 MHz (např. Siemens N47, Philips 3F3). Maximum jader se však používá v kmitočtovém rozsahu do 200 kHz a to ve spínaných zdrojích jak pro malé výkony s tranzistory, tak i pro velké výkony s tyristory. V dalších kapitolách vás chceme seznámit jak s materiály vhodnými pro tento rozsah kmitočtů a s vlastními jádry, tak i s návodem, jak pro daný výkon a kmitočet zvolit vhodné jádro, jednak výpočtem, jednak pomocí vhodných tabulkových údajů.

1. Feritové materiály

V tuzemsku vyrábíme pro daný kmitočtový rozsah feritový materiál FONOX H21. Jedná se o manganato-zinečnatý feritový materiál, vyráběný speciálně pro výkonové použití.

Jeho vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.

Tento feritový materiál je srovnatelný s následujícími feritovými materiály světových výrobců:

Siemens N27,
Philips 3C80,
Vogt Fi324,
Thomson B50,
Kaschke K2004,
TDK PC 30.

Uvedení výrobci vyrábějí jádra i rozměrově shodná (ve většině případů) s tuzemskými, takže lze použít stejné cívkové kostry a upínací příslušenství. V praxi lze tedy ve většině případů vyměnit jádro za jádro.

Na obr. 1 až 7 uvádíme následující charakteristiky materiálu FONOX H21:

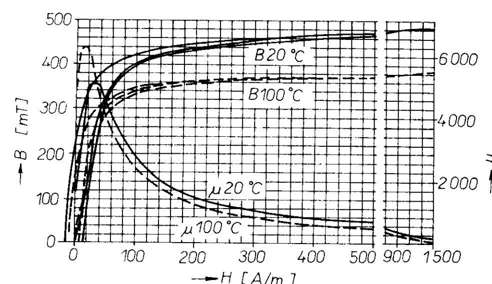
a) statickou magnetizační a hysterézní smyčku včetně závislosti permeability na intenzitě magnetického pole při teplotách 20 a 100 °C (obr. 1),
b) závislost počáteční permeability na teplotě (obr. 2),
c) závislost amplitudové permeability na indukci při teplotě 20 a 100°C (obr. 3),
d) závislost složek komplexní permeability na kmitočtu (obr. 4),
e) závislost měrných ztrát na teplotě pro různá sycení (obr. 5),
f) závislost měrných ztrát na indukci při teplotě 25 a 100 °C (obr. 6),
g) závislost efektivní a reverzibilní permeability na stejnosměrném sycení (obr.7).

Tab. 1. Elektromagnetické vlastnosti feritového materiálu FONOX H21

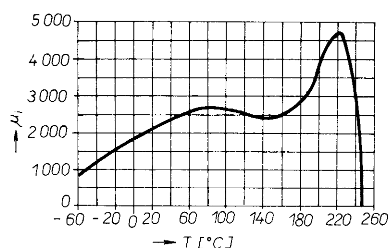
Počáteční permeabilita	μ_i		1900 ±20%
Měrné ztráty při f = 15 kHz, B = 200 mT, T = 20 °C T = 100 °C	P_S	mW/g	≤23 ≤20,8
Magnetická indukce při H = 250 A/m, T = 100 °C	B	mT	≥330
Courieho teplota	T_C	°C	≥200
Měrný odpor	ρ	Ωm	2
Magnetická indukce v nasycení, H = 3000 A/m	B	mT	500
Koercitivní síla	H_C	A/m	20
Měrná hmotnost	γ	kg/m³	4800

Uvedené charakteristiky uvádí většina výrobců v různých kombinacích, v zásadě však stačí k získání základních znalostí o daném materiálu.

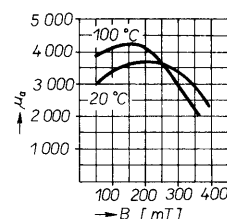
V současné době se zavádí do výroby nový typ feritového materiálu FONOX H24 pro kmitočtový rozsah do 400 kHz (srovnatelný s materiály Siemens N67, Philips 3F3), jeho vlastnosti budou popsány v příštím roce.



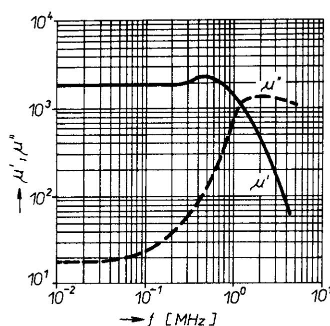
Obr. 1. Statická magnetizační křivka a závislost permeability na intenzitě magnetického pole H pro teploty 20 a 100 °C u materiálu FONOX H21



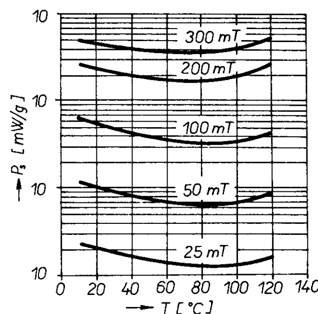
Obr. 2. Teplotní závislost počáteční permeability u materiálu FONOX H21



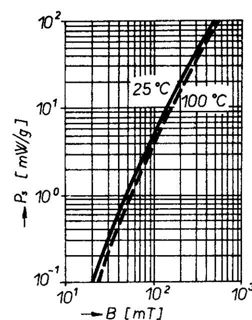
Obr. 3. Závislost amplitudové permeability na magnetické indukci (FONOX H21)



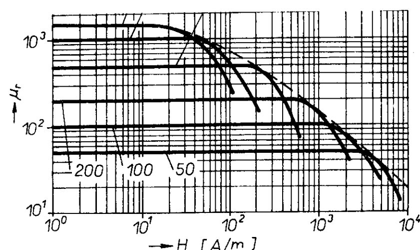
Obr. 4. Závislost složek komplexní permeability na kmitočtu (FONOX H21)



Obr. 5. Závislost specifických ztrát na teplotě a magnetické indukci (FONOX H21)



Obr. 6. Závislost specifických ztrát na magnetické indukci (FONOX H21)



Obr. 7. Závislost efektivní a reverzibilní permeability na stejnosměrném sycení pro dělená jádra

2. Feritová jádra

Z feritového materiálu FONOX H21 se vyrábějí (nebo se v současné době připravuje výroba) prakticky všechny běžné typy jader, vyráběných světovými výrobci.

Jedná se o následující tvarové typy jader:

a) hrníčková jádra,
b) jádra E,
c) jádra EF,
d) jádra EC,
e) jádra ETD,
f) jádra RM,
g) jádra U a UI,
h) toroidní jádra.

Jádra z uvedeného feritového materiálu, pokud nejsou potištěná, jsou označena tečkou hnědé barvy.

2. 1 Feritová hrníčková jádra

Hrníčková jádra se používají zejména tam, kde záleží na malé rozptylové indukčnosti a malé vlastní kapacitě transformátorů. Jádra jsou dodávána buď bez vzduchové mezery nebo se vzduchovou mezerou, která je tvořena zkrácením středního sloupku jádra. Vzduchová mezera je tvořena do velikosti 0,5 mm asymetricky v jedné polovině jádra, přes 0,5 mm symetricky v obou polovinách jádra. Rozměry hrníčkových jader jsou uvedeny v tab. 2, v níž je také tabulka údajů efektivních parametrů pro výpočty. Jádra rozměrově odpovídají doporučení IEC č. 133. Z materiálu FONOX H21 se vyrábějí ve velikostech od průměru 18 do průměru 42 mm. Na těchto jádrech lze realizovat transformátory s přenášeným výkonem od 5 do 480 W v závislosti na volbě pracovního režimu a kmitočtu. Elektromagnetické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3, v níž jsou velikosti magnetické indukce při $H = 250$ A/m a $T = 100$°C, celkové ztráty jádra při $B = 200$ mT, $f = 15$ kHz a $T = 100$ °C, součinitelé indukčnosti A_L a efektivní permeability pro jádra bez i se vzduchovou mezerou.

Hrníčková jádra lze kromě spínaných zdrojů používat pro impulsní transformátory, anténní transformátory pro vysílače, v řídicích obvodech strojů, „zapalovacích" transformátorech apod.

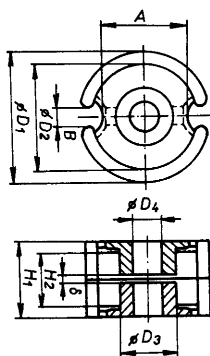
Na obr. 8 je závislost součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery pro všechny typy hrníčkových jader.

2. 2 Feritová jádra E

Tato jádra jsou po hrníčkových jádrech nejstarším typem feritových jader. Typy E 20 až E 32/12 jsou rozměrově shodné s řadou plechových jader EB, typy E 42 a E 65 jsou rozměrově shodné s řadou plechových jader M a odpovídají normě DIN 41295. Jádra jsou dodávána buď bez vzduchové mezery nebo se vzduchovou mezerou, vytvořenou zkrácením středního sloupku. Rozměry řady jader E včetně efektivních rozměrů pro výpočty jsou uvedeny v tab. 4. Na těchto jádrech lze realizovat transformátory s přenášeným výkonem od 4 do 2340 W v závislosti na pracovním režimu a pracovním kmitočtu. Elektromagnetické vlastnosti jsou v tab. 5. Jádra E je možno používat i ve složeném tvaru, tj. několik jader vedle sebe, čím dosáhneme výhodnějších parametrů - tuto konfiguraci používáme tehdy, jsme-li omezeni např. stavební výškou.

Na obr. 9 je závislost součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery pro celou řadu jader E.

Tab. 2. Rozměry feritových hrníčkových jader (v mm)



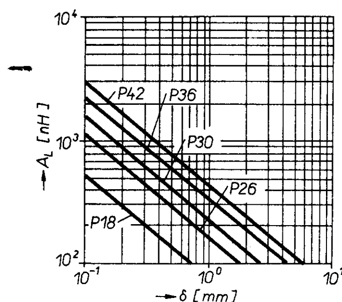
Typ	D_1	D_2	D_3	D_4	H_1	H_2	A	B
P 18x11	18,4 -0,8	14,9 +0,5	7,6 -0,3	3 +0,2	10,7 -0,3	7,2 +0,4	13,1 -0,5	2,5
P 26x16	26 -1	21,2 +0,8	11,5 -0,4	5,4 +0,3	16,3 -0,4	11 +0,4	18,4 -0,7	3,5
P 30x19	30,5 -1	25 +0,8	13,5 -0,4	5,4 +0,3	19 -0,4	13 +0,4	21,4 -0,8	4
P 36x22	36,2 -1,2	29,9 +1	16,2 -0,6	5,4 +0,3	22 -0,6	14,6 +0,4	26 -1	4,5
P 42x29	43,1 -1,4	35,6 +1,4	17,7 -0,6	5,4 +0,3	29,9 -0,6	20,3 +0,4	32 -2	5

Efektivní parametry pro výpočty

Typ	C_1 (mm^{-1})	S_e (mm^2)	S_{min} (mm^2)	l_e (mm)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
P 18x11	0,597	43	35	25,8	1120	7
P 26x16	0,400	93	74	37,6	3530	20
P 30x19	0,330	137	112	45,2	6190	36
P 36x22	0,264	202	173	53,2	10 700	57
P 42x29	0,259	265	214	68,6	18 200	120

Tab. 3. Elektromagnetické vlastnosti hrníčkových jader

Typ	Magnetická indukce B_s (mT) při H =250 A/m, f = 5 kHz a T = 100 °C	Celkové ztráty P_C (W) při B = 0,2 T, f = 15 kHz a T = 100 °C	d (mm)	A_L (nH)	m_e	Objednací číslo
P 18x11	≥310	≤0,3	-	2940 ±25 %	1400	205 521 005 250
			0,1 ±0,02	~517	~246	261
			0,25 ±0,02	~247	~117	262
			0,5 ±0,05	~136	~ 64	263
P 26x16	≥310	≤0,5	-	4750 ±25 %	1510	205 521 005 350
			0,1 ±0,02	~1056	~336	361
			0,25 ±0,02	~520	~165	362
			0,5 ±0,05	~289	~92	363
			0,75 ±0,05	~203	~65	364
P 30x19	≥310	≤0,9	-	6000 ±25 %	1575	205 521 005 400
			0,1 ±0,02	~1500	~394	411
			0,25 ±0,02	~750	~197	412
			0,5 ±0,05	~420	~110	413
			0,75 ±0,05	~297	~78	414
			1 ±0,1	~233	~61	415
P 36x22	≥310	≤1,4	-	7600 ±25 %	1600	205 521 005 450
			0,1 ±0,02	~2135	~448	461
			0,2 ±0,02	~1304	~274	466
			0,25 ±0,02	~1090	~223	462
			0,5 ±0,05	~615	~129	463
			0,75 ±0,05	~435	~ 91	464
			1 ±0,1	~342	~72	465
P 42x29	≥310	≤3	-	8100 ±25%	1670	205 521 005 500
			0,1 ±0,02	~2620	~540	511
			0,25 ±0,02	~1380	~284	512
			0,5 ±0,05	~790	~163	513
			0,75 ±0,05	~563	~116	514
			1 ±0,1	~444	~91	515
			1,25 ±0,1	~365	~75	516



Obr. 8. Závislost konstanty A_L na velikosti vzduchové mezery pro hrníčková jádra (FONOX H21)

2. 3 Feritová jádra EF

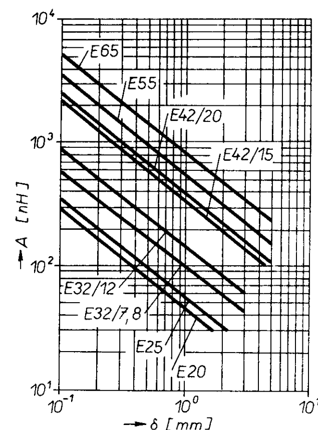
Koncem 80. let se v západní Evropě začala zavádět nová řada jader E, tzv. EF, na základě normy DIN 41985. Jsou to typy EF 12,6 až EF 32, rozměrově poněkud rozdílné od řady jader E a měly by jádra E postupně nahrazovat. Jádra se dodávají buď bez vzduchové mezery nebo se vzduchovou mezerou vytvořenou zkrácením středního sloupku. Je možno dodávat buď jádra s definovanou vzduchovou mezerou nebo s definovaným součinitelem indukčnosti A_L (viz tab. 7). Rozměry řad jader EF s efektivními parametry jsou v tab. 6. Jádra odpovídají rozměrově DIN 41985 a jsou shodná prakticky s výrobky všech světových výrobců. S těmito jádry lze realizovat výkonové transformátory pro výkony od 2 do 250 W podle zvoleného pracovního režimu a kmitočtu. V tab. 7 jsou elektromagnetické vlastnosti jader s definovanou vzduchovou mezerou a v tab. 8 s definovaným součinitelem indukčnosti A_L. Na obr. 10 jsou závislosti součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery.

Tab. 4. Rozměry jader E (v mm)

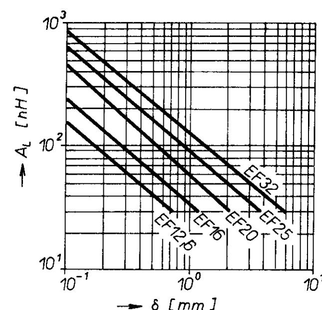
Typ	A	B_{min}	C	D_{min}	E	F	R_1	R_2
E 20	20 ±0,6	15	5 -0,3	11,4	17,2 -0,8	4,8 -0,4	1,5	0,4
E 25	25 ±0,75	18,8	6 -0,4	14, 0	21,3 -1,0	5,8 -0,4	2	0,4
E 32/7,8	32 ±1	23,6	8 -0,5	17,2	26,2 -1,2	7,8 -0,5	2,5	0,5
E 32/12	32 ±1	23,6	8 -0,5	17,2	26,2 -1,2	12 -0,7	2,5	0,5
E 42/15	42 ±1,25	29,5	12 -0,7	29	42,6 -1,5	15 -0,9	2,5	0,5
E 42/20	42 ±1,25	29,5	12 -0,7	29	42,6 -1,5	20 -1,0	2,5	0,5
E 55	55,2±1,45	37,5	17 -0,9	38	57,0 -1,7	21 -1,0	2,5	0,5
E 65	65,4 ±1,6	44,2	20 -1	45	66,6 -2,0	27,4 -1,2	3	0,5

Efektivní parametry pro výpočty (byly vypočítány podle doporučení IEC č. 205)

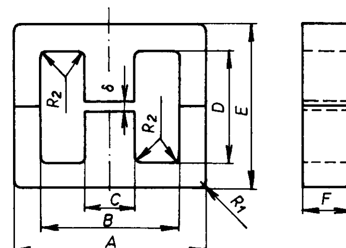
Typ	C_1 (mm^{-1})	S_e (mm^2)	S_{min} (mm^2)	l_e (mm)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
E 20	1,85	22,4	21,2	41,7	935	5,6
E 25	1,54	33,5	31,4	51,5	1720	9,6
E 32/7,8	1,09	59,1	58,5	64,2	3790	20
E 32/12	0,7	93,1	90,3	65,6	6100	30
E 42/15	0,56	172	169	96,6	16 600	93
E42/20	0,42	230	226	96,6	22 250	120
E 55	0,39	328	320	129	42 300	227
E 65	0,29	528	520	152	80 100	410



Obr. 9 Závislost součinitele indukčnosti (konstanty) A_L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader E (FONOX H21)



Obr. 10. Závislost konstanty A_L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader EF (FONOX H21)



Tab. 5. Elektromagnetické vlastnosti jader E

Typ	Vzduch. mezera (mm)	A_L (nH)	μ_e	Objednací číslo
E 20	-	1070 ±25 %	1530	205 521 203 050
	0,1 ±0,02	~298	424	070
	0,25 ±0,02	~147	209	071
	0,5 ±0,05	~82	117	072
	0,75 ±0,05	~58	83	073
	1 ±0,05	~45	65	074
E 25	-	1100 ±25 %	1530	205 521 203 100
	0,1 ±0,02	~345	472	120
	0,25 ±0,02	~177	243	121
	0,5 ±0,05	~101	137	122
	0,75 ±0,05	~71	98	123
	1 ±0,05	~56	77	124
E 32/7,8	-	1600 ±25 %	1560	205 521 203 150
	0,1 ±0,02	~587	560	170
	0,25 ±0,02	~310	296	171
	0,5 ±0,05	~179	170	172
	0,75 ±0,05	~127	121	173
	1 ±0,05	~100	96	174
	1,5 ±0,1	~70	67	175
	2 ±0,1	~55	53	176
	2,5 ±0,1	~46	44	177
E 32/12	-	2450 ±25%	1560	205 521 203 200
	0,1 ±0,02	~880	560	220
	0,25 ±0,02	~465	296	221
	0,5 ±0,05	~268	171	222
	0,75 ±0,05	~191	122	223
	1 ±0,05	~150	95	224
	1,5 ±0,1	~105	67	225
	2 ±0,1	~83	53	226
E 42/15	-	2450 ±25 %	1560	205 521 403 250
	0,1 ±0,02	~1540	671	260
	0,25 ±0,02	~846	370	261
	0,5 ±0,05	~497	218	262
	0,75 ±0,05	~357	156	263
	1 ±0,05	~283	124	264
	1,5 ±0,1	~199	87	265
	2 ±0,1	~156	68	266
	2,5 ±0,1	~132	58	267
E 42/20	-	4900 ±25 %	1560	205 521 203 275
	0,1 ±0,02	~2140	681	283
	0,25 ±0,02	~1180	376	284
	0,5 ±0,05	~694	221	285
	0,75 ±0,05	~498	159	286
	1 ±0,05	~395	126	281
	1,2 ±0,1	~337	107	280
	1,5 ±0,1	~278	89	287
	2 ±0,1	~218	69	288
	2,5 ±0	~184	59	289
E 55	-	5450 ±25 %	1560	205 521 403 350
	0,5 ±0,05	~960	275	320
	1 ±0,1	~554	159	321
	1,5 ±0,1	~392	112	322
	2 ±0,1	~308	88	323
	2,5 ±0,1	~261	75	324
	3 ±0,1	~229	66	325
E 65	-	7100 ±25 %	1580	205 521 403 350
	0,5 ±0,05	~1445	322	371
	1 ±0,1	~843	188	372
	1,5 ±0,1	~600	134	373
	2 ±0,1	~473	105	374
	2,5 ±0,1	~401	89	375
	3 ±0,1	~352	78	376

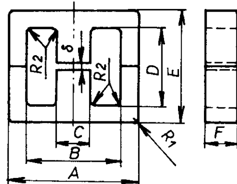
Typ	P_{100} max (mW)	B_{100} min (mT)
E 20	300	310
E 25	300	
E 32/7,8	500	
E 32/12	800	
E 42/15	2 000	
E 42/20	2 500	
E 55	4 800	
E 65	8 500	

2. 4 Feritová jádra EC

Jádra EC jsou mezistupněm mezi jádry E a ETD. Proti jádrům E mají výhodu v kruhovém středním sloupku, který umožňuje navíjet cívky rychloběžnými válcovými navíječkami. Jádra jsou mezinárodně normalizovaná a odpovídají rozměrově doporučení IEC č. 647. Vyrábějí se celkem čtyři typy. Pouze v Japonsku se vyrábějí i typy větší než EC 70. Jádra se dodávají buď bez vzduchové mezery, nebo s definovanou vzduchovou mezerou. Rozměry jader EC jsou v tab. 9, v níž jsou uvedeny i efektivní parametry pro výpočty. S těmito jádry lze realizovat výkonové transformátory od 40 do 1800 W (v závislosti na pracovním režimu a kmitočtu). V tab. 10 jsou elektromagnetické vlastnosti jader se vzduchovou i bez vzdu-

Tab. 6. Rozměry jader EF (v mm)

Typ	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	R_1	R_2
EF 12,6	12,6+0,5 -0,4	8,9 +0,6	3,7 -0,3	9 +0,6	13 -0,4	3,7 -0,3	1	0,3
EF 16	16 +0,7 -0,5	11,3 +0,6	4,7 -0,3	11,4 +0,8	16,4 -0,6	4,7 -0,4	1	0,3
EF 20	20 +0,8 0,6	14,1 +0,6	5,9 -0,4	14 +0,8	20,4 -0,8	5,9 -0,5	1,5	0,4
EF 25	25 +0,8 -0,7	17,5 +0,8	7,5 -0,5	17,4 +1	25,6 -1	7,5 -0,6	2	0,5
EF 32	32 +0,9 -0,7	22,7 +1	9,5 -0,6	22,4 +1,2	32,8 -1,2	9,5 -0,7	2,5	0,5



Efektivní parametry pro výpočty (vypočítány podle doporučení IEC č. 205)

Typ	C_1 (mm^{-1})	S_e (mm^2)	S_{min} (mm^2)	l_e (mm)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
EF 12,6	2,27	13	12,2	29,6	384	2
EF 16	1,87	20,1	19,4	37,6	754	4,6
EF 20	1,34	33,5	31,6	44,9	1 500	7,4
EF 25	1,09	52,5	51,5	57,5	3 020	16
EF 30	0,89	83	81,4	74	6 100	34

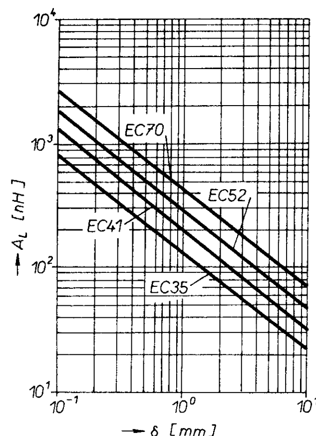
Tab. 7. Feritová jádra se zaručovanou velikostí vzduchové mezery

Typ	Vzduch. mezera δ (mm)	A_L (nH)	μ_e	Objednací číslo
EF 12,6	~0	800 ±25 %	1450	205 521 203 400
	0,05 ±0,01	~259	468	401
	0,1 ±0,02	~153	276	402
	0,25 ±0,02	~74	134	403
	0,5 ±0,05	~41	74	404
EF 16	~0	1050 ±25 %	1560	205 521 203 420
	0,05 ±0,01	~375	558	421
	0,1 ±0,02	~228	339	422
	0,25 ±0,02	~112	167	423
	0,5 ±0,05	~62	92	424
	0,75 ±0,05	~44	65	425
EF 20	~0	1500 ±25 %	1600	205 521 203 440
	0,05 ±0,01	~591	630	441
	0,1 ±0,02	~368	392	442
	0,25 ±0,02	~184	196	443
	0,5 ±0,05	~103	110	444
	0,75 ±0,05	~73	78	445
	1 ±0,05	~57	61	446
EF 25	~0	1900 ±25 %	1650	205 521 203 460
	0,1 ±0,02	~544	472	461
	0,25 ±0,02	~280	243	462
	0,5 ±0,05	~159	138	463
	0,75 ±0,05	~113	97	464
	1 ±0,05	~87	75	465
	1,5 ±0,1	~62	54	466
	2 ±0,1	~48	42	467
	2,5 ±0,1	~41	36	468
EF 32	~0	2400 ±25 %	1710	205 521 203 480
	0,1 ±0,02	~860	612	481
	0,25 ±0,02	~442	314	482
	0,5 ±0,05	~251	179	483
	0,75 ±0,05	~178	127	484
	1 ±0,05	~140	100	485
	1,5 ±0,1	~98	70	486
	2 ±0,1	~76	54	487
	2,5 ±0,1	~65	46	488

U jader bez vzduchové mezery jsou zaručovány:
magnetická indukce B
při H = 250 A/m a T = 100 °C a
celkové ztráty P_c
při B = 200 mT, f = 15 kHz a T = 100 °C

Typ	P_{100} max (mW)	B_{100} min (mT)
EF 12,6	50	
EF 16	120	
EF 20	190	310
EF 25	400	
EF 32	800	

chové mezery. Na obr. 11 jsou závislosti součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery.



Obr. 11. Závislost konstanty A_L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader EC (FONOX H21)

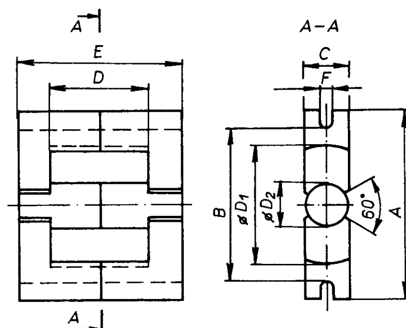
Tab. 8. Feritová jádra EF se zaručovaným součinitelem indukčnosti, A_L

Typ	A_L (nH)	μ_e	~δ (mm)	Objednací číslo
EF 12,6	200 ±20	361	0,07	205 521 203 400.01
	160 ±15	289	0,1	.02
	100 ±15	181	0,17	.03
	80 ±10	145	0,23	.04
	63 ±10	114	0,3	.05
	40 ±10	72	0,51	.06
EF 16	400 ±20	595	0,05	205 521 203 420.01
	250 ±15	372	0,09	.02
	160 ±15	238	0,19	.03
	125 ±15	186	0,22	.04
	100 ±10	149	0,29	.05
	80 ±8	119	0,37	.06
	63 ±8	94	0,5	.07
	50 ±8	74	0,64	.08
	40 ±8	60	0,82	.09
	31,5 ±6	49	1,1	.10
	25 ±5	37	1,4	.11
	20 ±4	30	1,9	.12
EF 20	500 ±20	533	0,06	205 521 203 440.01
	400 ±15	426	0,09	.02
	250 ±15	267	0,17	.03
	200 ±15	213	0,23	.04
	160 ±10	171	0,29	.05
	125 ±10	133	0,4	.06
	100 ±10	107	0,52	.07
	80 ±10	85	0,68	.08
	63 ±8	67	0,88	.09
	50 ±8	53	1,15	.10
	40 ±6	43	1,5	.11
	31,5 ±6	34	1,95	.12
	25 ±4	27	2,65	.13
	20 ±4	21	3,6	.14
EF 25	630 ±20	546	0,08	205 521 203 460.01
	400 ±15	347	0,16	.02
	315 ±15	273	0,22	.03
	250 ±10	217	0,29	.04
	200 ±8	173	0,38	.05
	160 ±8	139	0,5	.06
	125 ±8	108	0,67	.07
	100 ±8	87	0,86	.08
	80 ±8	69	1,12	.09
	63 ±5	55	1,5	.10
	50 ±4	43	1,95	.11
	40 ±4	35	2,55	.12
	31,5 ±4	27	3,6	.13
	25 ±3	22	5,1	.14
EF 32	800 ±15	569	0,1	205 521 203 480.01
	630 ±15	448	0,15	.02
	400 ±15	284	0,27	.03
	315 ±10	224	0,37	.04
	250 ±8	178	0,49	.05
	200 ±8	142	0,83	.06
	160 ±8	114	1,15	.07
	125 ±8	89	1,45	.08
	100 ±5	71	1,85	.09
	80 ±5	57	2,55	.10
	63 ±4	45	3,5	.11
	50 ±3	36	5	.12

Tab. 9. Rozměry feritových jader EC (v mm)

Typ	*A*	*B*	D_1	D_2	*C*	*D*	*E*	*F*
EC 35	35,3 -1,6	27,7 +1,6	22,2 +1,1	9,8 -0,6	9,8 -0,6	23,8 +1,4	34,9 -0,6	2,5 +0,5
EC 41 *)	41,6 -2	32,6 +2	26,3 +1,5	11,9 -0,6	11,9 -0,6	27,6 +1,6	39,3 -0,6	3 +0,5
EC 52	53,5 -2,6	42,7 +2,6	32,1 +1,8	13,75-0,7	13,75-0,7	31,0 +1,6	48,7 -0,6	3,5 +0,5
EC 70	71,7 -3,4	57,9 +3,4	43,2 +2,4	16,8 -0,8	16,8 -0,8	44,6 +1,8	69,3 -0,6	4,5 +0,5

*) předběžné údaje - připravuje se



Efektivní parametry pro výpočty (vypočítány v souladu s doporučením IEC č.205)

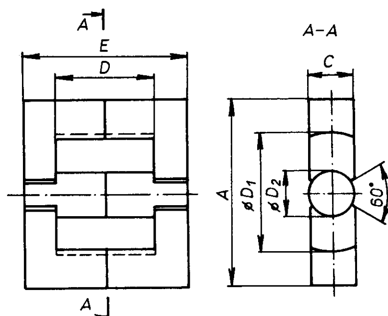
Typ	C_1 (mm^{-1})	S_e (mm^2)	S_{min} (mm^2)	l_e (mm)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
EC 35	0,918	84,3	71	77,4	6530	36
EC 41	0,735	121	106	89,3	10 800	52
EC 52	0,581	180	141	105	18 800	108
EC 70	0,514	279	211	144	40 100	252

Tab. 10. Velikosti vzduchové mezery *δ*, součinitele indukčnosti A_L a efektivní permeability jader EC

Typ	Vzduch. mezera (mm)	A_L (nH)	μ_e	Objednací číslo
EC 35	-	2100 ±25 %	1530	205 521 204 400
	0,1 ±0,02	~805	588	401
	0,25 ±0,02	~431	315	402
	0,5 ±0,05	~250	183	403
	0,75 ±0,05	~178	130	404
	1 ±0,05	~141	103	405
	1,5 ±0,1	~100	73	406
	2 ±0,1	~78	57	407
EC 41	-	2700 ±25 %	1570	205 521 204 425
	0,1 ±0,02	~1100	643	426
	0,25 ±0,02	~603	353	427
	0,5 ±0,05	~353	206	428
	0,75 ±0,05	~253	148	429
	1 ±0,05	~201	118	430
	1,5 ±0,1	~142	83	431
	2 ±0,1	~112	65	432
	2,5 ±0,1	~95	56	433
	3 ±0,1	~83	49	434
EC 52	-	3400 ±25 %	1570	205 521 204 450
	0,1 ±0,02	~1548	716	451
	0,25 ±0,05	~868	401	452
	0,5 ±0,05	~515	238	453
	0,75 ±0,05	~371	171	454
	1 ±0,05	~295	136	455
	1,5 ±0,1	~209	97	456
	2 ±0,1	~164	76	457
	2,5 ±0,1	~139	64	458
	3 ±0,1	~123	57	459
EC 70	-	3900 ±25 %	1590	205 521 204 475
	0,1 ±0,02	~2104	860	476
	0,25 ±0,02	~1247	510	477
	0,5 ±0,05	~762	312	478
	0,75 ±0,05	~556	227	479
	1 ±0,05	~445	182	480
	1,5 ±0,1	~317	130	481
	2 ±0,1	~250	102	482
	2,5 ±0,1	~213	87	483
	3 ±0,1	~187	76	484

Typ	P_{100} max (mW)	B_{100} min (mT)
EC 35	0,8	
EC 41*)	1,1	310
EC 52	2,5	
EC 70	5,5	

*) předběžné údaje - připravuje se



2.5 Feritová jádra ETD

Jádra ETD (Economic Transformer Design) jsou v podstatě jádra EC resp. jádra E, navržená tak, aby efektivní průřez byl pokud možno stejný po celé délce střední magnetické siločáry. Tato jádra se vyznačují tedy malou změnou efektivního průřezu, tj. rozdíl mezi efektivním průřezem a minimálním průřezem je velmi malý. Jádra rozměrově odpovídají doporučení IEC 51 (CO) 276. Tato jádra se jeví

Tab. 11. Rozměry feritových jader ETD (v mm)

Typ	*A*	D_1	D_2	*C*	*D*	*E*
ETD 29	30,6 - 1,6	22,4 +1,4	9,8 -0,6	9,8 -0,6	21,4 +1,2	32,0 -0,8
ETD 34	35,0 -1,6	25,6 +1,4	11,1 -0,6	11,1 -0,6	23,6 +1,2	35,0 -0,8
ETD 39	40,0 -1,8	29,3 +1,6	12,8 -0,6	12,8 -0,6	28,4 +1,6	40,0 -0,8
ETD 44	45,0 -2	32,5 +1,6	15,2 -0,8	15,2 -0,8	32,2 +1,6	49,0 -0,8
ETD 49	49,8 -2,2	36,1 +1,8	16,7 -0,8	16,7 -0,8	35,4 +1,6	49,8 -0,8

Efektivní parametry pro výpočty (vypočteny podle doporučení IEC č. 205)

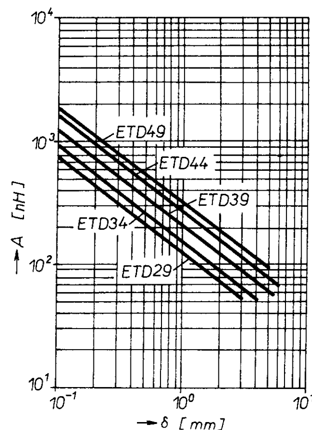
Typ	C_1 (mm^{-1})	S_e (mm^2)	S_{min} (mm^2)	l_e (mm)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
ETD 29	0,92	76	70	71	5377	28
ETD 34	0,81	97,1	91,6	78,6	7640	40
ETD 39	0,74	125	123	92,2	11 500	60
ETD 44	0,6	173	172	103	17 800	94
ETD 49	0,54	211	209	114	24 000	124

Tab. 12. Velikosti vzduchové mezery δ, součinitele indukčnosti A_L a efektivní permeability jader ETD

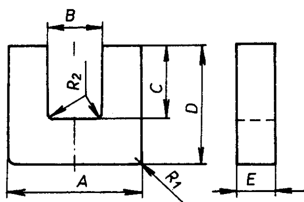
Typ	Vzduch. mezera (mm)	A_L (nH)	μ_e	Objednací číslo
ETD 29	-	2100 ±25 %	1530	205 521 203 640
	0,1 ±0,02	~750	549	641
	0,25 ±0,02	~394	288	642
	0,5 ±0,05	~227	166	643
	0,75 ±0,05	~162	118	644
	1 ±0,05	~128	94	645
	1,5 ±0,1	~90	66	646
	2 ±0,1	~71	52	647
ETD 34	-	2400 ± 25%	1550	205 521 203 660
	0,1 ±0,02	~923	594	661
	0,25 ±0,02	~495	319	662
	0,5 ±0,05	~287	185	663
	0,75 ±0,05	~205	132	664
	1 ±0,05	~162	104	665
	1,5 ±0,1	~115	74	666
	2 ±0,1	~90	58	667
ETD 39	-	2700 ±25 %	1600	205 521 203 680
	0,1 ±0,02	~1127	663	681
	0,25 ±0,02	~619	364	682
	0,5 ±0,05	~363	214	683
	0,75 ±0,05	~261	154	684
	1 ±0,05	~207	122	685
	1,5 ±0,1	~146	86	686
	2 ±0,1	~115	68	687
	3 ±0,1	~86	51	688
ETD 44	-	3450 ±25 %	1650	205 521 203 700
	0,1 ±0,02	~1499	716	701
	0,25 ±0,02	~838	400	702
	0,5 ±0,05	~496	237	703
	0,75 ±0,05	~357	171	704
	1 ±0,05	~284	136	705
	1,5 ±0,1	~201	96	706
	2 ±0,1	~158	75	707
	3 ±0,1	~118	56	708
ETD 49	-	3850 ±25 %	1650	205 521 203 720
	0,1 ±0,02	~1758	755	721
	0,25 ±0,02	~1000	430	722
	0,5 ±0,05	~597	256	723
	0,75 ±0,05	~432	186	724
	1 ±0,05	~343	147	725
	1,5 ±0,1	~243	104	726
	2 ±0,1	~192	82	727
	3 ±0,1	~143	61	728
	4 ±0,1	~118	51	729

Typ	P_{100} max (W)	B_{100} min (mT)
ETD 29	0,6	
ETD 34	0,8	
ETD 39	1,3	310
ETD 44	2	
ETD 49	2,6	

jako optimální pro nové konstrukce. Jsou dodávána podobně jako jádra E nebo EC se vzduchovou mezerou nebo bez ní. Vzduchová mezera je vytvořena zkrácením středního sloupku. Rozměry feritových jader ETD včetně efektivních parametrů pro výpočty jsou v tab. 11. S jádry lze realizovat výkonové transformátory od 30 do 1170 W podle pracovního režimu a kmitočtu. V tab. 12 jsou uvedeny elektromagnetické vlastnosti jader ETD. Na obr. 11a jsou závislosti součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery.



Obr. 11a. Závislost konstanty A_L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader ETD (FONOX H21)



2. 6 Feritová jádra U a UI

Uvedená jádra pokrývají celou výkonovou škálu od několika W do desítek kW. Svým tvarem jsou vhodná pro skládání jader do různých vhodných kombinací. Kromě jader U se dodává i řada vhodných jader I, z nichž lze sestavit jádra s libovolným průřezem a rozměry, která lze dodávat již slepená, protože pro sestavování je nutné zabrušovat jádra na míru, což lze ekonomicky dělat pouze u výrobce. Jádra se lepí epoxidovými pryskyřicemi s teplotní odolností 80 nebo 150 °C. S vhodnými lepidly lze dosáhnout i odolnosti přes 200 °C. V tab. 13 jsou rozměry standardně vyráběných jader U a UI včetně efektivních parametrů pro výpočty. Jádra tohoto typu zatím nejsou mezinárodně normalizovaná, avšak řada z nich je vyráběna jako standardní většinou světových výrobců. Se standardní řadou lze dosáhnout výkonového přenosu transformátorů od 1,5 do 5300 W. Jak jsme již poznamenali, možnosti uspořádat jádra do potřebných kombinací jsou velmi široké a spínané zdroje s nimi dnes již nahrazují i v netradičních oborech klasické zdroje nebo měniče (např. zdroje vn pro elektrostatické odlučovače, svářečky, měniče pro kolejová vozidla apod.)

Elektromagnetické vlastnosti jsou v tab. 14. Jádra jsou dodávána bez vzduchové mezery nebo se vzduchovou mezerou podle požadavku zákazníka.

Tab. 13. Rozměry feritových jader U/I (v mm)

Typ	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	R_1	R_2	Objednací číslo
U 10/3	10 ±0,4	3,8 +0,4	5 +0,3	8,2 -0,4	3 -0,3	1	0,3	205 521 204 009
U 15/7	15,2±0,6	4,9 +0,6	5,9 +0,5	11,7 -0,6	6,7 -0,5	1,5	0,4	010
U 20/8	20,8±0,6	5,5 +0,6	8 +0,6	15,9 -0,6	7,8 -0,5	1,5	0,4	011
U 25/8	24,8±0,7	7,9 +0,6	11 +0,6	20 -0,6	7,6 -0,5	2	0,4	018
U 25/13	24,8±0,7	7,9 +0,6	11 +0,6	20 -0,6	13,0 -0,5	2	0,4	012
U 26/16	25,8±0,7	9,0 +0,7	13 +0,4	22,2 -0,7	16,0 -0,6	3	0,5	016
U 30/16	30,8±0,8	10 +0,8	16 +0,6	27,0 -0,6	16,0 -0,6	2	0,5	013
U 30/26	30,8±1,2	10 +0,8	16 +0,6	27,0 -0,8	26,5 -0,8	2	0,5	017
U 70	70,0-3,2	>31	>37,5	57,0 +1	20 ±0,5	-	0,5	205 521 404 007
U 80	80,0±2	>39	>29	48,5 +1	20,0±0,5	-	1,5	006
I 80	80,0±2	-	-	20,0 ±0,5	20,0±0,5	-	-	214
U 93	93,0±1,8	>34,6	48 ±0,9	76,0 ±0,5	30,0±0,6	3	1,5	014
I 93	93,0±1,8	-	-	30,0 ±0,6	27,5±0,5	-	-	219

Efektivní parametry pro výpočty

Typ	C_1 (mm^{-1})	S_e (mm^2)	l_e (mm)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
UU 10,3	4,4	8,7	38,2	332	1,8
UU 15/7	1,55	33	51	1670	9
UU 20/8	1,21	56	68	3820	18
UU 25/8	1,44	61	87	5320	26
UU 25/13	0,83	106	88	9330	42
UU 26/16	0,747	131	98	12 800	50
UU 30/16	0,73	159	118	18 800	96
UU 30/26	0,48	268	128	34 400	166
UU 70	0,68	400	272	108 700	550
UU 80	0,648	400	259	103 600	530
UI 80	0,503	400	201	80 300	418
UU 93	0,421	840	354	297 000	1520
UI 93	0,307	840	258	216 000	1110
M 186	0,421	1 680	708	594 000	3040
Jádro M186 je složeno ze čtyř jader U 93					

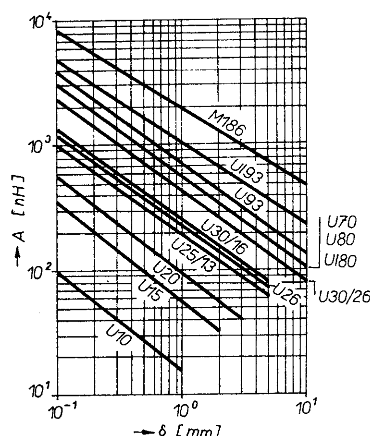
Tab. 14. Elektromagnetické vlastnosti jader U/I

Typ	A_L ±25 %	μ_e	P_C max. (mW)	B_{min} (mT)
UU 10/3	430	1500	100	310
UU 15/7	1250	1540	210	
UU 20/8	1700	1640	500	
UU 25/8	1440	1650	600	
UU 25/13	2500	1650	1000	
UU 26/16	3000	1780	1500	
UU 30/16	3300	1900	2200	
UU 30/26	4950	1900	3800	
UU 70	3300	1800	16 000	
UU 80	3500	1800	15 000	
UI 80	4500	1800	12 000	
UU 93	5400	1800	40 000	
UI 93	7400	1800	29 000	
M 186	5400	1800	80 000	

Součinitel indukčnosti A_L při T = 23 °C ±5 °C, f = 10 kHz, B < 0,25 mT. Celkové ztráty P_C při T = 100 °C, f = 15 kHz, B_a = 200 mT. Minimální magnetická indukce B_{min} při T = 100 °C, f = 5 kHz, H_a = 250 A/m.

Ještě jedno důležité upozornění pro používání jader s větší vzduchovou mezerou: vždy je nutné vzduchovou mezeru vyplnit nemagnetickým materiálem, protože při činnosti transformátoru by se mohlo jádro mechanicky zničit.

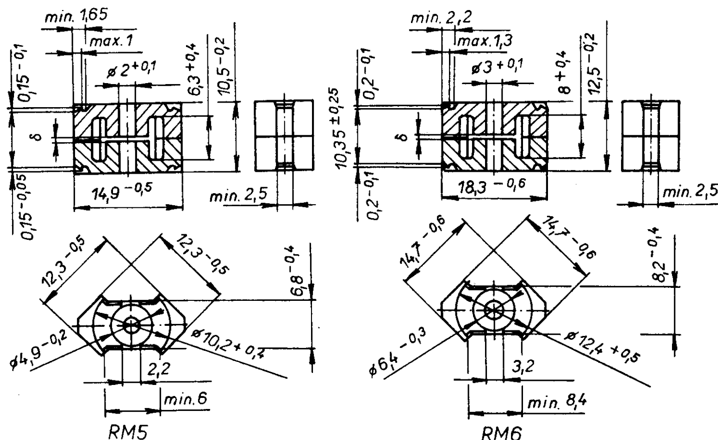
Na obr. 12 jsou závislosti součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery.



Obr. 12. Závislost součinitele indukčnosti (konstanty) A_L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader U (FONOX H21)

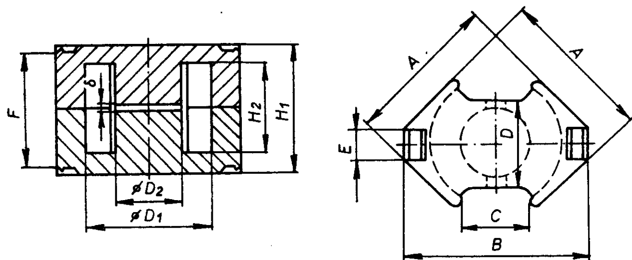
2. 7 Feritová jádra RM

Uvedená jádra se používají zejména tam, kde potřebujeme jádro s malou stavební výškou a dobrou izolační pevností. Slučují dobré vlastnosti hrníčkových jader a jader E. Rozměry jader jsou meziná-



Tab. 15. Rozměry feritových jader RM (v mm)

Typ	A	B	C	D	E	F	D_1	D_2	H_1	H_2
RM 8	19,7 -0,8	23,2 -0,9	9,5	11,0 -0,5	5	14,3 ±0,2	17,0 +0,6	8,55 -0,3	16,5 -0,2	10,8 +0,4
RM 10	24,7 -1,1	28,5 -1,3	10,9	13,5 -0,5	5	12,4 ±0,25	21,2 +0,9	10,9 -0,4	18,7 -0,2	12,4 +0,6
RM 12	29,8 -1,2	37,6 -1,5	13,4	16,1 -0,5	5	21,6 ±0,25	24,9 +0,1	12,8 -0,4	24,6 -0,2	16,8 +0,6
RM 14	34,8 -1,3	42,2 -1,5	17	19,0 -0,6	5,6	27,0 ±0,25	29,0 +1,2	15,0 -0,6	30,2 -0,2	20,8 +0,6



Velikosti efektivních parametrů pro výpočty

Typ	C_1 (mm^{-1})	l_e (mm)	S_e (mm^2)	S_{min} (mm^2)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
RM 5	1,01	21,4	21,2	14,8	450	3
RM 6	0,863	26,9	31,3	23,8	840	4,5
RM 8	0,604	38,4	63,0	55,4	2430	12
RM 10	0,462	44,6	96,6	80,9	4310	22
RM 12	0,388	56,6	146	125	8340	45
RM 14	0,353	70	198	168	13 900	72

Tab. 16. Elektromagnetické vlastnosti jader RM

Typ	P_{100} max (mW)	B_{100} min (mT)
RM 5	80	310
RM 6	150	
RM 8	300	
RM 10	600	
RM 12	1100	
RM 14	1700	

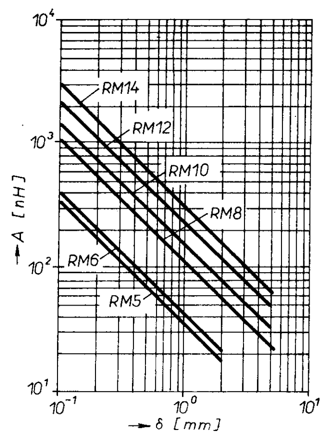
Tato jádra se dodávají buď bez vzduchové mezery nebo se zaručovanou velikostí činitele indukčnosti A_L, velikost vzduchové mezery podle tabulky je pak pouze informativní.

U jader bez vzduchové mezery jsou zaručovány: *magnetická indukce* při H_a = 250 A/m a T = 100 °C, *celkové ztráty* při B_a = 200 mT, f = 15 kHz a T = 100 °C.

Vzduchová mezera do velikosti 0,5 mm je zabroušena do jedné poloviny jádra, přes 0,5 mm do obou polovin jádra.

Součinitel indukčnosti A_L, velikost vzduchové mezery δ a efektivní permeabilita jader RM

Typ	A_L (nH)	~δ (mm)	μ_e	Objednací číslo
RM 5	1350 ±25 %	-	1100	250 521 306 825
	63 ±5	0,54	51	827
	100 ±5	0,35	80	828
	160 ±5	0,22	129	829
	250 ±10	0,14	201	830
RM 6	1900 ±25	-	1300	205 521 306 850
	63 ±5	0,70	50	852
	100 ±5	0,41	80	853
	160 ±5	0,24	127	854
	250 ±10	0,14	200	855
	400 ±10	0,08	318	856
RM 8	2700 ±25 %	-	1300	205 521 306 875
	100 ±5	1,09	48	876
	160 ±5	0,64	77	877
	250 ±5	0,38	120	878
	400 ±5	0,22	192	879
	630 ±10	0,12	302	880
RM 10	4100 ±25 %	-	1500	205 521 306 900
	160 ±5	1,03	59	901
	250 ±5	0,62	92	902
	400 ±5	0,35	147	903
	630 ±5	0,21	232	904
	1000 ±10	0,11	368	905
RM 12	5100 ±25 %	-	1570	205 521 306 925
	160 ±5	1,66	49	926
	250 ±5	0,99	77	927
	400 ±5	0,57	123	928
	630 ±5	0,28	194	929
	1000 ±10	0,18	309	930
RM 14	5800 ±25 %	-	1630	205 521 306 950
	160 ±5	2,39	45	951
	250 ±5	1,38	70	952
	400 ±5	0,8	112	953
	630 ±5	0,47	177	954
	1000 ±10	0,26	281	955
	1250 ±10	0,2	351	956



Obr. 13. Závislost součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery pro feritová jádra RM (FONOX H21)

rodně normalizovány a odpovídají doporučení IEC č. 431.

V tab. 15 jsou rozměry vyráběných jader včetně efektivních parametrů pro výpočty. Jádra jsou dodávána buď bez vzduchové mezery, nebo s definovanou vzduchovou mezerou. Po dohodě lze dodávat i jádra s definovaným součinitelem indukčnosti A_L. V tab. 16 jsou elektromagnetické vlastnosti jader. S uvedenými jádry lze dosáhnout výkonového přenosu transformátorů od 1,5 do 450 W podle pracovního režimu a kmitočtu. Na obr. 13 jsou závislosti součinitele indukčnosti A_L na velikosti vzduchové mezery.

Tab. 17. Rozměry nepovlakovaných toroidních feritových jader T (v mm)

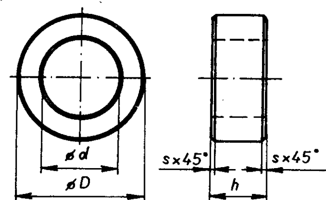
Typ	D	d	H	s·	Objednací číslo
T 10	10 ±0,3	6 ±0,2	4 ±0,15	0,3	205 521 200 005
T 12,5	12,5 ±0,35	7,5 ±0,2	5 ±0,15	0,3	102
T 16	16 ±0,5	10 ±0,2	6,3 ±0,2	0,4	103
T 20	20 ±0,5	12 ±0,3	8 ±0,2	0,5	104
T 25	25 ±0,75	15 ±0,45	10 ±0,3	0,5	203
T 32	32 ±1	20 ±0,6	13 ±0,4	0,5	300
T 40	40 ±1,2	24 ±0,7	16 ±0,45	0,5	301
T 50	50 ±1,5	30 ±0,9	20 ±0,6	0,5	303
T 80	80 ±1,5	50 ±0,9	22 ±1	-	501

Hrany jader jsou zaobleny

Rozměry povlakovaných jader T (v mm)				
Typ	D max.	d min.	H max.	Objednací číslo
T 10	11,1	5,0	4,95	205 521 200 005.1
T 12,5	13,65	6,5	5,95	102.1
T 16	17,3	8,9	7,3	103.1
T 20	21,3	10,9	9,0	104.1
T 25	26,55	13,75	11,1	203.1
T 32	33,8	18,8	14,2	300.1
T 40	43,0	22,5	17,25	301.1
T 50	52,3	28,3	21,4	303.1
T 80	82,5	51,7	23,8	501.1
Izolační povlak je tvořen epoxidovou pryskyřicí KOMAXIT				

2. 8 Feritové toroidy

Použití toroidů jako výkonových transformátorů je omezeno pouze na případy, kdy se vyžadují jádra bez vzduchové mezery, protože zhotovení vzduchové mezery je velmi pracné a nákladné. Jádra se dodávají buď s izolačním povlakem nebo bez povlaku. V tab. 17 je rozměrová řada toroidů, která odpovídá doporučení IEC č.



Efektivní parametry pro výpočty

Typ	C_1 (mm^{-1})	l_e (mm)	S_e (mm^2)	V_e (mm^3)	Hmotnost (g)
T 10	3,8	24,1	7,8	188	1
T 12,5	2,46	28,8	11,7	337	2
T 16	2,12	39,4	18,6	730	3,8
T 20	1,58	50,3	32	1575	8
T 25	1,23	60	49	2950	15
T 32	1,03	77	77	6000	30
T 40	0,77	96	125	12 000	60
T 50	0,62	120	196	23 600	120
T 80	0,61	197	323	63 600	324

Tab. 18. Elektromagnetické vlastnosti jader T:

1. Součinitel indukčnosti A_L u povlakovaných i nepovlakovaných jader

Typ	A_L (nH)
T 10	≥580
T 12,5	≥730
T 16	≥840
T 20	≥1140
T 25	≥1450
T 32	≥1740
T 40	≥1330
T 50	≥2900
T 80	≥3700

Součinitele A_L jsou měřeny při f = 10 kHz a B = 0,25 mT.

2. Průrazná pevnost u povlakovaných toroidů: Zkouší se v přípravku ze dvou kruhových elektrod, které se přiloží na feritové jádro a po dvě sekundy se nechá působit střídavé efektivní napětí pro toroidy o průměru

10 mm - 1 kV,
12,5 až 20 mm - 1,5 kV,
nad 20 mm - 2 kV.

525. Elektromagnetické vlastnosti jsou v tab. 18. S uvedenými jádry lze realizovat výkonové transformátory pro 6 až 4300 W při dvojčinném provozu, výkon je závislý na pracovním kmitočtu.

3. Feritová jádra se vzduchovou mezerou

U skládaných feritových jader např. E, U, EC, ETD apod. rozlišujeme dva typy vzduchových mezer:

a) technologické,

b) úmyslně zavedené.

První typ vzniká při zabrušování jednotlivých částí jádra mezi stykovými plochami. Mezera bývá obvykle 0,001 až 0,015 mm. Je způsobená nerovnostmi povrchu při broušení.

Druhý typ se úmyslně vytváří v magnetickém obvodu jádra tak, že se např. zkrátí střední sloupek.

Z uvedených důvodů mají oba druhy mezery vliv na permeabilitu jádra. Počáteční permeabilita materiálu jádra se zmenšuje v závislosti na velikosti vzduchové mezery a nazývá se pak efektivní permeabilitou jádra μ_e.

Efektivní permeabilita se jednoduše vypočte, známe-li velikost součinitele indukčnosti A_L:

$$\mu_e = \frac{A_L . C_1}{0,4\pi} \quad (3.1),$$

kde C_1 je tzv. tvarová konstanta jádra, udávaná v tabulkách (mm^{-1}),
A_L součinitel indukčnosti (nH).

Jak jsme již uvedli, demagnetizační efekt mezi magnetickými póly obvodu vlivem vzduchové mezery zmenšuje počáteční permeabilitu. Míra zmenšení bude záviset na reluktanci podél magnetické silokřivky v magnetickém materiálu jádra a na reluktanci vzduchové mezery. Pak můžeme psát

$$\mu_e = \frac{R_m}{R_m + R_g}\mu_i \quad (3.\ 2),$$

kde R_m je reluktance podél magnetické silokřivky jádra,
R_g reluktance vzduchové mezery,
μ_i počáteční permeabilita magnetického materiálu.

Velikost R_m lze určit z geometrických rozměrů obvodu:

$$R_m = \frac{l_e}{S_e} . \frac{1}{\mu_i} \quad (3.\ 3),$$

kde l_e je střední délka magnetické silokřivky,
S_e efektivní průřez

Obě veličiny se udávají v tabulkách efektivních parametrů pro výpočty.

Reluktanci vzduchové mezery lze určit ze vztahu:

$$R_g = \frac{l_g}{S_g} \quad (3.\ 4),$$

protože μ pro vzduch se rovná jedné. Ve (3. 4) l_g je délka vzduchové mezery,
S_g průřez vzduch. mezery.

Velikost l_g lze určit jednoznačně, S_g však představuje určitý problém, protože magnetické silokřivky neprobíhají jen mezi póly jádra, ale i mimo ně. Magnetické pole není homogenní, vykazuje určité deformace, protože magnetické silokřivky se na okrajích „vydouvají" do tvaru soudku, proto se tomuto efektu říká „barelový" efekt. Z tohoto důvodu je nutno zavést určitou korekci podle vztahu:

$$S_g = k . S_p,$$

kde S_p je průřez magnetického pólu a
k korekční činitel.

S_p je tedy průřez části magnetického obvodu, vytvářejícího vzduchovou mezeru. Protože u feritových jader je velmi malý rozdíl mezi S_p a S_e, uvažuje se, že $S_p = S_e$ s malou chybou.

Pak můžeme vztah (3. 4) psát:

$$R_g = \frac{l_g}{k . S_e} \quad (3.\ 5).$$

Vzhledem ke vztahům (3. 3) a (3. 5) lze vztah (3. 2) upravit

$$\mu_e = \frac{l_e . \mu_i}{l_e + \frac{l_g}{k} . \mu_i} \quad (3.\ 6).$$

Činitele k byly určeny experimentálně a jsou uvedeny v tab 19.

Ze vztahu (3. 6) lze přímo vypočítat $\frac{l_g}{k}$ jako funkci μ_e a μ_i:

$$\frac{l_g}{k} = l_e\left(\frac{1}{\mu_e} - \frac{1}{\mu_i}\right) \quad (3.\ 7),$$

nebo zavedením součinitele indukčnosti A_L

$$\frac{l_g}{k} = l_e\left(\frac{0,4\pi}{A_L . C_1} - \frac{1}{\mu_i}\right)$$

Lze tedy konstatovat, že velikost l_g pro výpočet A_L (resp. μ_e) odpovídá fyzikální délce vzduchové mezery.

Této metody výpočtu lze využít i při určování amplitudové permeability při velkých magnetických indukcích.

Vliv technologické magnetické mezery na velikost efektivní permeability je značný, protože v oblasti, v níž se tyto mezery nacházejí, je zmenšení permeability v závislosti na velikosti vzduchové mezery značné. Pro ilustraci malý příklad:

Předpokládejme dělený tvar z materiálu H21, μ_i = 1900. Technologická vzduchová mezera l_g = 0,015 mm, l_e = 50 mm. Pak:

μ_e = (50 · 1900)/(50 + 0,015 · 1900) = = 1210,

je-li činitel k v oblasti uvažované vzduchové mezery roven jedné. Z uvedeného je tedy zřejmé, že se permeabilita změní podstatně. Proto nelze u dělených obvodů nikdy dosáhnout permeabilit snadno dosažitelných na nedělených tvarech jader (např. u toroidů).

Při určování součinitele indukčnosti A_L je nutno kromě předepsané maximální indukce zachovat ještě jednu zásadu: cívka pro měření musí být plná vinutí, protože jinak je možné dopustit se chyby, zejména u jader se vzduchovou mezerou, až minus 10 %.

4. Stejnosměrné sycení feritových jader se vzduchovou mezerou

Základním úkolem je najít takové výpočtové vztahy pro feritová jádra se vzduchovou mezerou pro výpočet indukčnosti

Tab. 19. Součinitelé *k* rozptylu magnetického pole ve vzduchové mezeře feritových jader (barelový efekt)

Vzduch. mezera l_g (mm)	k	l_g/k	Vzduch. mezera l_g (mm)	k	l_g/k
0,00	1,00	-	2,30	1,488	1,5450
0,05	1,05	0,0476	2,40	1,56	1,5385
0,10	1,1	0,0909	2,50	1,575	1,5873
0,15	1,15	0,1304	2,60	1,59	1,6352
0,20	1,2	0,1667	2,70	1,605	1,6822
0,25	1,217	0,2054	2,80	1,62	1,7284
0,30	1,234	0,2431	2,90	1,635	1,7737
0,35	1,25	0,2800	3,00	1,65	1,8182
0,40	1,267	0,3157	3,10	1,665	1,8788
0,45	1,283	0,3507	3,20	1,68	1,9048
0,50	1,3	0,3846	3,30	1,695	1,9469
0,60	1,32	0,4545	3,40	1,71	1,9883
0,70	1,34	0,5224	3,50	1,725	2,0290
0,80	1,36	0,5882	3,65	1,74	2,0290
0,90	1,38	0,6522	3,70	1,775	2,0845
1,00	1,4	0,7143	3,80	1,77	2,1469
1,10	1,41	0,7801	3,90	1,785	2,1849
1,20	1,42	0,8451	4,00	1,8	2,2222
1,30	1,43	0,9090	4,10	1,815	2,2590
1,40	1,44	0,9722	4,20	1,83	2,2950
1,50	1,45	1,0345	4,30	1,845	2,3306
1,60	1,46	1,0959	4,40	1,86	2,3656
1,70	1,47	1,1565	4,50	1,875	2,4000
1,80	1,48	1,2162	4,60	1,89	2,4339
1,90	1,49	1,2752	4,70	1,905	2,4670
2,00	1,5	1,3333	4,80	1,92	2,5000
2,10	1,515	1,3861	4,90	1,935	2,5300
2,20	1,53	1,4379	5,00	1,95	2,5640

a zatěžovacího stejnosměrného proudu, aby indukčnost byla v daném rozsahu konstantní, tj. aby nebyla proudově závislá.

Proud *I*, tekoucí *N* závity vynutí, vytváří celkovou magnetomotorickou sílu, působící na magnetický obvod, a vytváří magnetický tok tekoucí jádrem i vzduchovou mezerou. Pro daný typ jádra je magnetická indukce v materiálu jádra úměrná magnetickému toku. Magnetický tok jádra se vzduchovou mezerou je:

$$\Phi = \frac{\text{magnetomotorická síla}}{\text{reluktance (jádra + vzduch. mez.)}} = \text{konst.}\,\frac{I.N}{R_m + R_g} \qquad (4.\ 1),$$

úpravou tohoto vztahu dostáváme výraz pro celkovou magnetomotorickou sílu

$$(I.N)_c = \text{konst.}\left(R_m + R_g\right).\Phi \qquad (4.\ 2).$$

Z uvedených vztahů vyplývá, že celková magnetomotorická síla může být rozdělena na dvě části:

- první $(I \cdot N)_m$ - nutná pro překonání reluktance jádra,
- druhá $(I \cdot N)_g$ - nutná pro překonání reluktance vzduchové mezery.

Protože reluktance je úměrná délce a nepřímo úměrná průřezu a permeabilitě, můžeme pro obě složky magnetomotorické síly psát:

$$(I.N)_m = (I.N)_c \frac{R_m}{R_m + R_g} \qquad (4.\ 3),$$

$$(I.N)_g = (I.N)_c \frac{R_g}{R_m + R_g} \qquad (4.\ 4).$$

Protože předpokládáme, že průřez jádra i vzduchové mezery je stejný, potřebujeme pro další práce znát délku jádra, délku vzduchové mezery a permeabilitu jádra. Jak jsme již dříve uvedli, průřezy jádra a vzduchové mezery jsou v důsledku „barelového" efektu různé. Toto kritérium je velmi přísné, proto v praxi s malou chybou tvrdíme, že průřez vzduchové mezery je rovný S_e. Se zvětšující se vzduchovou mezerou se zvětšuje i činitel „*k*". Proto se se zvětšováním tohoto činitele zvětšuje i reluktance vzduchové mezery. Magnetomotorickou sílu ve vzduchové mezeře můžeme vyjádřit vztahem:

$$(I.N)_g = (I.N)_c \frac{\frac{l_g}{k.S_e}}{\frac{l_e}{S_e\mu_i} + \frac{l_g}{k.S_e}} = (I.N)_c \frac{\frac{l_g}{k}}{\frac{l_e}{\mu_i} + \frac{l_g}{k}} \qquad (4.\ 5).$$

Pro indukčnost L potřebujeme

$$N = 1000\left(\frac{L}{A_L}\right)^{1/2}$$

závitů, kde L je v mH a A_L v nH.
Velikost A_L

$$A_L = \frac{0{,}4\pi.\mu_e}{C_1} = \frac{0{,}4\pi.\mu_e}{\frac{l_e}{S_e}},$$

kde C_1 je v mm^{-1}, l_e v mm, S_e v mm^2.

Velikost μ_e lze určit ze vztahu

$$\mu_e = \frac{l_e.\mu_i}{l_e + \mu_i\frac{l_g}{k}}.$$

Pak

$$A_L = \frac{0{,}4\pi}{\frac{l_e}{S_e}}\,\frac{l_e.\mu_i}{l_e + \frac{l_g}{k}.\mu_i} = \frac{0{,}4\pi.S_e}{\frac{l_e}{\mu_i} + \frac{l_g}{k}} \qquad (4.\ 6).$$

Výše uvedený vztah pro výpočet počtu závitů N, potřebných pro indukčnost L v mH, vztah (4. 5) pro $(I.N)_g$ můžeme upravit, když $\frac{1}{0{,}4\pi} = 0{,}892$ a $S_e.l_e = V_e$

$$(I.N)_g = 1000 I \frac{\frac{l_g}{k}}{\frac{l_e}{\mu_i} + \frac{l_g}{k}}\left[\frac{L}{0{,}4\pi.S_e}\left(\frac{l_e}{\mu_i} + \frac{l_g}{k}\right)\right]^{1/2} =$$

$$= 892 I \frac{l_g}{k}\left(\frac{L}{V_e}\,\frac{\mu_i}{1 + \mu_i\frac{l_g}{l_e.k}}\right)^{1/2} \qquad (4.\ 7).$$

Intenzita magnetického pole ve vzduchové mezeře je

$$H_g = \frac{10(I.N)_g}{l_g} \qquad [\text{A / cm}],$$

kde l_g je v mm, pak v kombinaci se vztahem (4. 7) dostáváme

$$H_g = 8920 I \frac{l_g}{k}\left(\frac{L}{V_e}\,\frac{\mu_i}{1 + \mu_i\frac{l_g}{l_e.k}}\right)^{1/2} \qquad (4.\ 8).$$

Výše uvedené vztahy ukazují relaci mezi stejnosměrným zatěžovacím proudem, typem jádra (V_e, l_e), požadovanou indukčností a velikostí vzduchové mezery. Používané feritové materiály mají vesměs počáteční permeabilitu okolo 2000 a magnetickou indukci v nasycení přes 400 mT. Abychom pracovali v lineární části magnetizační křivky, doporučuje se pracovní indukce maximálně 200 mT.

Indukce ve vzduchové mezeře bude o něco menší, v důsledku známých jevů se totiž zdánlivě rozšiřuje vzduchová mezera a tedy zvětšuje její plocha.

Položíme-li ve vztahu (4 · 8) za μ_i = 1900, což je charakteristický údaj pro náš feritový materiál FONOX H21, a vztah transformujeme tak, aby vyjadřoval maximálně dovolený ss proud, dostáváme:

$$I_{\max} = 0{,}00338k\left[\frac{V_e}{L}\left(1 + \frac{1900 l_g}{l_e.k}\right)\right]^{1/2} \qquad (4.\ 9),$$

kde I je v A, V_e v mm^3, L v nH, l_e, l_g v mm.

Ze vztahu (4. 6) můžeme úpravou získat vztah k určení potřebného počtu závitů pro indukčnost L v mH

$$N = 1000\left[\frac{L}{0{,}4\pi.V_e l_e}.l_e\left(\frac{1}{\mu_i} + \frac{l_g}{l_e.k}\right)\right]^{1/2} =$$

$$= 19{,}95 l_e\left[\frac{L}{V_e}\left(1 + 1900\frac{l_g}{l_e.k}\right)\right]^{1/2} \qquad (4.10)$$

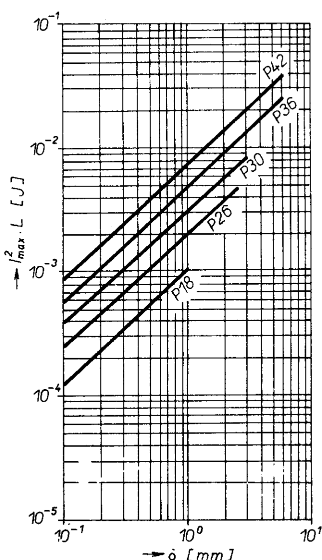
Použitím vztahů (4 · 9) a (4 · 10) byly vypočteny pro jednotlivé typy jader údaje $I_{\max}$ a N (pro indukčnost 1 mH), které jsou uvedeny v tab. 20 až 26 pro vzduchové mezery do 5 mm. Na obr. 14 až 20 jsou pak závislosti $I^2_{\max} \cdot L$ na velikosti vzduchové mezery. Tyto závislosti jsou uváděny obvykle v katalozích světových výrobců.

Tab. 20. K určení maximálního stejnosměrného proudu I_m a počtu závitů N vinutí pro indukčnost 1 mH u feritových hrníčkových jader v závislosti na velikosti vzduchové mezery

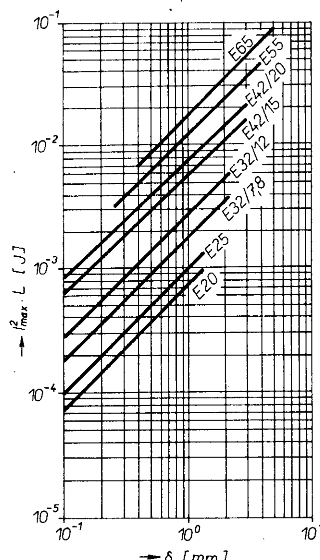
Vzduch. mezera (mm)	P 18		P 26		P 30		P 36		P 42	
	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N
0,05	252	33	389	23	484	20	603	17	729	15
0,10	345	43	522	30	642	25	793	21	941	19
0,15	424	50	636	35	779	29	956	24	1126	22
0,20	495	56	740	39	903	32	1106	27	1297	24
0,25	553	62	824	43	1005	36	1229	30	1435	26
0,30	607	67	903	46	1099	38	1343	32	1565	28
0,35	657	72	977	49	1188	41	1449	34	1687	30
0,40	706	76	1048	52	1273	43	1552	36	1803	32
0,45	752	80	1115	55	1354	45	1650	38	1915	33
0,50	796	83	1180	57	1432	47	1745	39	2024	35
0,60	877	90	1298	62	1574	51	1916	43	2219	37
0,70	952	97	1409	66	1707	55	2077	45	2403	40
0,80	1024	102	1514	70	1834	58	2231	48	2579	42
0,90	1093	108	1615	74	1956	61	2376	51	2747	44
1,00	1159	113	1712	77	2074	64	2520	53	2910	46
1,10	1219	118	1800	80	2180	67	2648	55	3057	48
1,20	1277	122	1885	83	2282	69	2772	57	3199	50
1,30	1333	127	1967	86	2381	72	2892	59	3336	52
1,40	1388	131	2047	89	2478	74	3009	61	3470	54
1,50	1441	135	2125	92	2572	76	3123	63	3600	55
1,60	1493	139	2201	95	2664	79	3234	65	3728	57
1,70	1544	143	2276	97	2753	81	3343	67	3852	58
1,80	1593	146	2349	100	2841	83	3449	68	3975	60
1,90	1642	150	2420	102	2928	85	3554	70	4094	61
2,00	1690	153	2491	104	3013	87	3657	72	4212	62
2,10			2564	106	3102	88	3764	73	4336	64
2,20			2637	108	3189	90	3871	74	4458	65
2,30			2709	110	3276	91	3976	76	4578	66
2,40			2780	112	3362	93	4080	77	4698	67
2,50			2850	114	3447	94	4183	78	4816	68
2,60			2920	115	3531	96	4285	79	4933	69
2,70			2989	117	3614	97	4386	80	5049	70
2,80			3058	119	3697	98	4486	81	5164	71
2,90			3126	120	3779	100	4586	82	5278	72
3,00			3193	122	3861	101	4684	83	5392	73
3,10					3942	102	4783	84	5505	74
3,20					4022	103	4880	85	5617	74
3,30					4103	104	4977	86	5728	75
3,40					4182	105	5073	87	5839	76
3,50					4261	106	5169	88	5949	77
3,60					4340	107	5265	89	6058	77
3,70					4418	109	5360	90	6167	78
3,80					4496	109	5454	90	6276	79
3,90					4574	110	5548	91	6384	80
4,00					4651	111	5642	92	6491	80
4,10					4728	112	5735	93	6598	81
4,20					4805	113	5828	93	6705	82
4,30					4881	114	5920	94	6811	82
4,40					4957	115	6013	95	6917	83
4,50					5033	116	6105	96	7023	83
4,60					5108	116	6196	96	7128	84
4,70					5184	117	6287	97	7233	84
4,80					5259	118	6379	97	7338	85
4,90					5334	119	6469	98	7442	86
5,00					5409	120	6560	99	7546	86

Tab. 22. K určení maximálního stejnosměrného proudu I_m a počtu závitů N vinutí pro indukčnost 1 mH u feritových jader EF v závislosti na velikosti vzduchové mezery (mm)

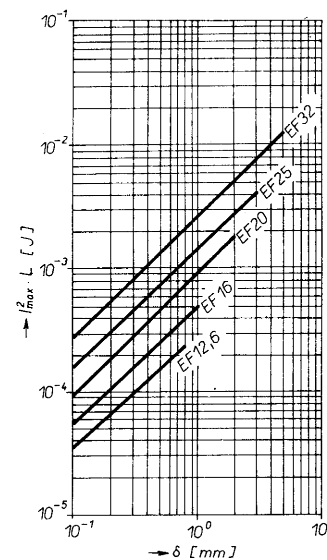
Vzduch. mezera (mm)	EF 12,6		EF 16		EF 20		EF 25		EF 32	
	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N
0,05	140	61	180	50	239	40	313	33	416	28
0,10	190	79	241	65	317	51	409	42	534	34
0,15	233	92	294	75	384	59	492	48	637	39
0,20	272	103	342	84	446	66	569	53	733	43
0,25	304	114	381	92	496	72	631	58	810	47
0,30	333	123	417	100	543	78	689	63	882	51
0,35	361	131	452	106	587	83	743	67	950	54
0,40	387	139	484	112	629	88	796	71	1016	57
0,45	412	146	515	118	668	92	846	74	1078	59
0,50	436	153	545	123	707	96	894	77	1139	62
0,60	480	166	600	134	777	104	981	84	1248	67
0,70	522	177	651	143	843	111	1064	89	1352	71
0,80			700	151	906	118	1142	94	1450	75
0,90			746	159	966	124	1217	99	1545	79
1,00			791	166	1024	129	1290	104	1636	83
1,10			832	174	1076	135	1355	108	1718	86
1,20			871	181	1127	140	1419	112	1798	89
1,30			909	187	1176	145	1480	116	1875	93
1,40			946	193	1224	150	1539	120	1950	96
1,50			982	199	1270	155	1598	124	2023	99
1,60					1315	159	1654	127	2094	101
1,70					1360	163	1710	131	2164	104
1,80					1403	168	1764	134	2232	107
1,90					1446	171	1818	137	2300	109
2,00					1488	175	1870	140	2366	111
2,10					1532	179	1925	143	2435	114
2,20					1575	182	1979	145	2503	116
2,30					1618	185	2033	148	2571	118
2,40					1660	188	2086	150	2638	120
2,50					1702	191	2139	153	2704	121
2,60					1744	194	2191	155	2770	123
2,70					1785	197	2243	157	2835	125
2,80					1826	199	2294	159	2900	127
2,90					1867	202	2345	161	2964	128
3,00					1907	204	2395	163	3027	130
3,10					1947	207	2445	165	3091	131
3,20					1987	209	2495	167	3154	133
3,30					2026	211	2545	169	3216	134
3,40					2065	213	2594	170	3278	135
3,50					2105	216	2643	172	3340	137
3,60					2143	218	2692	174	3401	138
3,70					2182	220	2740	175	3462	139
3,80					2221	222	2789	177	3523	141
3,90					2259	224	2837	179	3584	142
4,00					2297	225	2884	180	3644	143
4,10							2932	182	3704	144
4,20							2980	183	3764	145
4,30							3027	184	3824	146
4,40							3074	186	3883	148
4,50							3121	187	3943	149
4,60							3168	188	4002	150
4,70							3214	190	4060	151
4,80							3261	191	4119	152
4,90							3307	192	4178	153
5,00							3354	193	4236	154



Obr. 14. Závislost I^2_{max} . L na velikosti vzduchové mezery pro hrníčková jádra (FONOX H21)



Obr. 15. Závislost I^2_{max} . L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader E (FONOX H21)



Obr. 16. Závislost I^2_{max} . L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader EF (FONOX H21)

Tab. 21. K určení maximálního stejnosměrného proudu I_m a počtu závitů N vinutí pro indukčnost 1 mH u feritových jader E v závislosti na velikosti vzduchové mezery

Vzd. mezera (mm)	E 20		E 25		E 32/7,8		E 32/12		E 42/15		E 42/20		E 55		E 65	
	I_m (mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m (mA)	N	I_m (mA)	N	I_m (mA)	N
0,05	210	44	249	42	350	33	429	27	634	21	756	17	959	16	1260	13
0,10	280	57	325	52	450	40	551	33	798	25	952	21	1183	19	1532	15
0,15	340	66	391	60	538	46	659	38	944	28	1126	24	1385	21	1780	17
0,20	395	73	452	67	619	51	758	41	1079	31	1287	26	1574	23	2013	19
0,25	440	80	502	73	685	55	839	45	1188	34	1417	28	1725	24	2197	20
0,30	482	87	548	79	746	59	914	49	1291	36	1539	30	1867	26	2372	21
0,35	521	93	592	84	804	63	985	52	1387	38	1655	32	2002	28	2537	23
0,40	559	98	633	89	860	67	1053	54	1480	40	1766	34	2131	29	2697	24
0,45	595	103	673	93	913	70	1118	57	1569	42	1871	35	2256	30	2850	25
0,50	629	107	711	97	964	73	1181	60	1655	44	1975	37	2377	31	3000	26
0,60	692	116	781	105	1057	79	1294	64	1811	47	2160	40	2595	34	3268	28
0,70	751	124	847	112	1144	84	1402	69	1958	50	2336	42	2801	36	3523	29
0,80	807	132	909	119	1228	89	1504	73	2099	53	2503	44	2998	38	3767	31
0,90	860	138	969	124	1308	93	1602	76	2234	56	2664	47	3187	40	4002	32
1,00	912	145	1027	130	1385	97	1697	79	2364	58	2820	49	3371	41	4229	34
1,10	959	151	1079	136	1455	102	1782	83	2481	60	2960	51	3536	43	4433	35
1,20	1004	157	1129	141	1523	105	1865	86	2595	63	3095	53	3695	45	4630	36
1,30	1048	163	1178	146	1588	109	1945	89	2705	65	3227	54	3850	46	4822	37
1,40	1090	168	1225	151	1651	113	2023	92	2812	67	3354	56	4000	48	5009	39
1,50	1132	173	1272	156	1713	116	2099	95	2917	69	3479	58	4147	49	5191	40
1,60	1172	178	1317	160	1774	120	2173	98	3019	71	3601	60	4291	51	5369	41
1,70	1212	183	1361	164	1833	123	2245	100	3119	73	3720	61	4432	52	5544	42
1,80	1251	188	1404	168	1891	126	2316	103	3217	75	3837	63	4570	53	5715	43
1,90	1289	192	1447	172	1948	129	2386	105	3313	76	3952	64	4706	54	5883	44
2,00	1326	196	1489	176	2004	131	2455	107	3408	78	4065	65	4839	56	6049	45
2,10	1365	200	1532	179	2063	134	2527	109	3507	79	4183	67	4979	57	6222	46
2,20	1404	204	1576	183	2121	136	2598	111	3605	81	4300	68	5117	58	6394	46
2,30	1442	207	1618	186	2178	139	2668	113	3702	82	4416	69	5254	59	6564	47
2,40	1480	211	1661	189	2235	141	2737	115	3797	84	4530	70	5389	59	6732	48
2,50	1518	214	1703	192	2291	143	2806	117	3892	85	4643	71	5523	60	6899	49
2,60	1555	217	1744	194	2347	145	2874	119	3987	86	4756	72	5656	61	7064	49
2,70	1591	220	1785	197	2402	147	2942	120	4080	87	4867	73	5788	62	7228	50
2,80	1628	223	1826	200	2457	149	3009	122	4173	88	4977	74	5919	63	7391	51
2,90	1664	224	1866	202	2511	151	3076	123	4265	90	5087	75	6048	64	7552	51
3,00	1700	229	1907	205	2565	153	3142	125	4356	91	5196	76	6177	64	7713	52
3,10	1736	231	1947	207	2619	155	3207	126	4447	92	5304	77	6305	65	7872	53
3,20	1771	234	1986	210	2672	156	3273	128	4537	93	5412	78	6433	66	8030	53
3,30	1806	237	2026	212	2725	158	3337	129	4626	94	5519	79	6559	67	8188	54
3,40	1842	239	2065	214	2778	160	3402	130	4715	95	5625	79	6685	67	8344	54
3,50	1875	242	2104	216	2830	161	3466	132	4804	96	5730	80	6810	68	8500	55
3,60	1911	244	2143	218	2882	163	3530	133	4892	97	5836	81	6935	69	8655	55
3,70	1946	246	2181	220	2934	164	3593	134	4980	97	5940	82	7059	69	8809	56
3,80	1980	248	2220	222	2986	166	3657	135	5067	98	6044	82	7182	70	8962	56
3,90	2014	251	2258	224	3037	167	3719	137	5154	99	6148	83	7305	70	9115	57
4,00	2048	253	2296	226	3088	169	3782	138	5241	100	6251	84	7427	71	9267	57
4,10	2082	255	2334	228	3139	170	3844	139	5327	101	6354	85	7549	72	9419	58
4,20	2116	257	2372	230	3190	171	3907	140	5413	102	6457	85	7670	72	9570	58
4,30	2149	259	2410	232	3240	173	3969	141	5498	102	6559	86	7791	73	9720	59
4,40	2185	261	2447	233	3291	174	4030	142	5583	103	6660	86	7911	73	9870	59
4,50	2216	262	2484	235	3341	175	4092	143	5668	104	6762	87	8032	74	10 019	59
4,60	2250	264	2522	237	3391	176	4153	144	5753	105	6863	88	8151	74	10 168	60
4,70	2283	266	2559	238	3441	178	4214	145	5838	105	6964	88	8271	75	10 317	60
4,80	2316	268	2596	240	3491	179	4275	146	5922	106	7064	89	8390	75	10 465	61
4,90	2349	270	2633	241	3540	180	4336	147	6006	107	7164	89	8508	76	10 613	61
5,00	2382	271	2670	243	3590	181	4396	148	6089	107	7264	90	8626	76	10 760	61

Tab. 24. K určení maximálního stejnosměrného proudu I_m a počtu závitů N vinutí pro indukčnost 1 mH u feritových jader BC v závislosti na velikosti vzduchové mezery

Vzduch. mezera (mm)	BC 35		BC 41		BC 52		BC 70	
	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N
0,05	422	28	523	24	664	21	907	18
0,10	540	34	662	29	829	25	1104	21
0,15	644	39	785	33	977	28	1284	24
0,20	740	43	899	37	1114	31	1453	26
0,25	817	47	991	40	1225	33	1587	28
0,30	890	50	1077	43	1329	35	1713	29
0,35	958	54	1158	45	1427	38	1833	31
0,40	1024	57	1236	48	1521	40	1949	33
0,45	1086	59	1311	50	1612	41	2 060	34
0,50	1147	62	1384	52	1700	43	2169	35
0,60	1257	67	1515	56	1858	46	2363	38
0,70	1361	71	1638	60	2008	49	2548	40
0,80	1460	75	1756	63	2151	52	2725	42
0,90	1555	79	1870	66	2288	55	2895	44
1,00	1646	82	1979	69	2421	57	3059	46
1,10	1729	86	2078	72	2541	59	3207	48
1,20	1809	89	2173	75	2656	62	3350	50
1,30	1886	92	2266	77	2768	64	3489	52
1,40	1961	95	2355	80	2878	66	3624	53
1,50	2035	98	2443	82	2984	68	3756	55
1,60	2106	101	2529	85	3088	70	3885	56
1,70	2177	104	2613	87	3190	72	4012	58
1,80	2245	106	2695	89	3290	73	4136	59
1,90	2313	109	2776	91	3388	75	4258	61
2,00	2379	111	2855	93	3485	77	4378	62
2,10	2449	113	2939	95	3586	78	4504	63
2,20	2518	115	3021	96	3686	79	4628	64
2,30	2586	117	3102	98	3785	81	4751	65
2,40	2653	119	3183	100	3882	82	4873	66
2,50	2720	121	3262	101	3979	83	4994	67
2,60	2786	123	3341	103	4075	84	5113	68
2,70	2851	124	3420	104	4171	86	5232	69
2,80	2916	126	3497	105	4265	87	5350	70
2,90	2980	128	3575	107	4359	88	5467	71
3,00	3044	129	3651	108	4452	89	5583	72
3,10	3108	131	3727	109	4545	90	5698	73
3,20	3171	132	3803	110	4637	91	5813	73
3,30	3234	133	3878	112	4728	92	5927	74
3,40	3296	135	3953	113	4819	93	6040	75
3,50	3358	136	4027	114	4910	94	6153	76
3,60	3420	138	4101	115	5000	95	6265	76
3,70	3482	139	4175	116	5089	96	6377	77
3,80	3543	140	4248	117	5178	96	6488	78
3,90	3604	141	4321	118	5267	97	6598	78
4,00	3664	142	4393	119	5355	98	6709	79
4,10	3725	144	4466	120	5443	99	6818	80
4,20	3785	145	4538	121	5531	100	6928	80
4,30	3845	146	4609	122	5618	100	7037	81
4,40	3905	147	4681	123	5705	101	7145	81
4,50	3964	148	4752	124	5792	102	7253	82
4,60	4023	149	4823	125	5878	103	7361	83
4,70	4083	150	4894	125	5965	103	7469	83
4,80	4142	151	4965	126	6051	104	7576	84
4,90	4200	152	5035	127	6136	105	7683	84
5,00	4259	153	5105	128	6222	105	7790	85

Obr. 18. Závislost I^2_{max} . L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader ETD (FONOX H21)

Obr. 17. Závislost I^2_{max} . L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader U (FONOX H21)

Obr. 19. Závislost I^2_{max} . L na velikosti vzduchové mezery u fertových jader EC (FONOX H21)

Obr. 20. Závislost I^2_{max} . L na velikosti vzduchové mezery u feritových jader RM (FONOX H21)

Tab. 23. K určení maximálního stejnosměrného proudu I_m a počtu závitů *N* vinutí pro indukčnost 1 mH u feritových jader U v závislosti na velikosti vzduchové mezery

Vzduch mezera (mm)	U 10/3		U 15/7		U20/8		U 25/8		U 25/13		U 26/16		U 30/16		U 30/26		U 70		UI 80		U 80		UI 93		U 93	
	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m (mA)	*N*	I_m (mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*	I_m(mA)	*N*
0,05	77	119	242	41	335	34	370	34	488	26	557	24	647	23	761	33	1351	19	1165	16	1281	18	1917	13	2167	15
0,10	98	159	318	52	432	41	469	41	618	31	699	29	800	27	884	37	1567	21	1395	19	1501	20	2233	14	2472	16
0,15	114	194	385	60	518	47	556	47	733	36	826	32	938	30	1000	40	1772	23	1606	21	1708	22	2529	16	2762	17
0,20	127	225	445	67	596	52	637	51	840	39	944	36	1067	33	1111	43	1967	24	1806	22	1905	23	2813	17	3042	18
0,25	140	251	494	73	660	57	703	56	926	42	1039	39	1171	36	1196	45	2116	26	1963	24	2057	25	3030	18	3251	19
0,30	151	275	541	79	720	61	764	60	1007	45	1128	41	1268	38	1277	48	2259	27	2112	25	2202	26	3238	18	3451	20
0,35	162	297	584	84	776	65	822	63	1083	48	1212	44	1360	40	1354	50	2395	28	2253	27	2340	28	3436	19	3643	21
0,40	171	319	625	89	829	69	878	67	1156	51	1293	46	1448	42	1429	52	2528	29	2390	28	2475	29	3629	20	3831	21
0,45	180	339	665	93	881	72	931	70	1226	53	1370	48	1533	44	1502	54	2656	31	2522	29	2604	30	3815	21	4012	22
0,50	**188**	**359**	**703**	**97**	**931**	**75**	**983**	**73**	**1295**	**55**	**1446**	**50**	**1616**	**46**	**1573**	**56**	**2782**	**32**	**2651**	**30**	**2731**	**31**	**3998**	**22**	**4192**	**23**
0,60	203	395	772	105	1021	81	1076	79	1417	60	1581	54	1764	50	1700	59	3006	34	2881	32	2958	33	4323	23	4509	24
0,70	217	429	837	113	1106	87	1164	84	1533	64	1709	58	1905	53	1822	63	3220	35	3100	34	3174	35	4634	24	4814	25
0,80	230	461	899	119	1186	92	1248	89	1643	67	1832	61	2040	56	1939	66	3426	37	3311	36	3381	37	4933	26	5108	26
0,90	242	491	959	125	1264	96	1328	93	1750	71	1949	64	2169	58	2052	68	3625	39	3513	38	3582	38	5222	27	5393	27
1,00	**253**	**521**	**1016**	**131**	**1339**	**100**	**1406**	**97**	**1852**	**74**	**2063**	**67**	**2294**	**61**	**2161**	**71**	**3818**	**40**	**3709**	**39**	**3776**	**40**	**5503**	**28**	**5670**	**28**
1,10	264	548	1068	137	1406	105	1476	101	1945	77	2165	69	2406	63	2259	74	3990	42	3885	41	3950	41	5753	29	5915	30
1,20	274	574	1118	142	1472	109	1544	105	2034	80	2264	72	2515	66	2354	76	4158	43	4055	42	4118	43	5995	30	6154	30
1,30	284	599	1166	147	1535	113	1610	109	2120	83	2360	75	2621	68	2446	79	4320	45	4221	44	4282	44	6231	31	6387	31
1,40	294	623	1213	152	1596	116	1674	112	2205	85	2453	77	2723	70	2536	81	4479	46	4382	45	4442	46	6462	32	6614	32
1,50	303	647	1259	157	1656	120	1736	116	2287	88	2544	79	2824	72	2624	83	4634	47	4539	46	4598	47	6687	33	6837	33
1,60	312	670	1304	161	1715	123	1797	119	2367	90	2633	82	2922	74	2710	85	4787	48	4693	47	4751	48	6907	33	7055	34
1,70	320	693	1348	165	1772	127	1857	122	2446	93	2720	84	3018	76	2795	87	4936	50	4844	49	4901	49	7124	34	7269	35
1,80	328	715	1391	169	1829	130	1916	125	2523	95	2806	86	3112	78	2878	89	5082	51	4992	50	5048	50	7336	35	7480	36
1,90	336	737	1433	173	1884	133	1973	128	2598	97	2890	88	3204	80	2960	91	5226	52	5138	51	5193	51	7545	36	7687	36
2,00	**343**	**758**	**1475**	**177**	**1938**	**136**	**2029**	**131**	**2673**	**99**	**2972**	**90**	**3295**	**81**	**3040**	**93**	**5368**	**53**	**5281**	**52**	**5335**	**52**	**7751**	**36**	**7891**	**37**
2,10	350	780	1518	181	1995	138	2089	133	2751	101	3059	91	3391	83	3125	95	5518	54	5431	53	5485	53	7967	37	8107	38
2,20	356	802	1561	184	2051	141	2147	135	2828	103	3144	93	3485	84	3209	96	5666	55	5580	54	5634	54	8182	38	8321	38
2,30	362	824	1604	187	2106	143	2205	138	2904	105	3229	94	3578	86	3292	98	5813	56	5728	55	5781	55	8394	38	8533	39
2,40	368	846	1645	190	2161	146	2262	140	2979	106	3312	96	3670	87	3375	99	5958	56	5874	56	5926	56	8605	39	8743	39
2,50	374	867	1687	193	2216	148	2319	142	3054	108	3395	97	3762	88	3456	101	6102	57	6018	56	6071	57	8813	39	8951	40
2,60	380	889	1728	196	2270	150	2375	144	3128	110	3477	99	3852	90	3537	102	6245	58	6161	57	6214	58	9020	40	9158	41
2,70	385	910	1769	199	2323	152	2431	146	3201	111	3558	100	3942	91	3618	104	6387	59	6303	58	6355	58	9225	41	9363	41
2,80	390	930	1809	201	2376	154	2486	148	3274	113	3639	102	4031	92	3697	105	6527	60	6444	59	6496	59	9429	41	9566	42
2,90	395	951	1850	204	2429	156	2541	150	3346	114	3719	103	4120	93	3776	106	6667	60	6584	59	6636	60	9631	42	9768	42
3,00	**400**	**972**	**1890**	**206**	**2481**	**158**	**2595**	**152**	**3418**	**115**	**3799**	**104**	**4208**	**94**	**3855**	**107**	**6806**	**61**	**6724**	**60**	**6775**	**61**	**9832**	**42**	**9969**	**43**
3,10	405	992	1929	209	2533	160	2649	154	3489	117	3878	105	4295	96	3933	109	6944	62	6862	61	6913	61	10 032	42	10 169	43
3,20	409	1012	1968	211	2584	162	2703	155	3560	118	3957	106	4382	97	4011	110	7081	62	6999	61	7050	62	10 230	43	10 367	43
3,30	414	1033	2008	213	2636	163	2757	157	3630	119	4035	108	4468	98	4088	111	7217	63	7136	62	7187	63	10 428	43	10 565	44
3,40	418	1053	2047	216	2686	165	2810	159	3700	120	4112	109	4554	99	4165	112	7353	64	7271	63	7323	63	10 624	44	10 761	44
3,50	422	1073	2058	218	2737	167	2863	160	3770	122	4190	110	4639	100	4242	113	7488	64	7406	63	7458	64	10 819	44	10 957	45
3,60	426	1092	2124	220	2788	168	2915	162	3839	123	4266	111	4724	101	4318	114	7622	65	7541	64	7592	64	11 014	45	11 151	45
3,70	430	1112	2162	222	2838	170	2968	163	3908	124	4343	112	4808	101	4393	115	7756	65	7675	65	7726	65	11 207	45	11 345	45
3,80	434	1132	2200	224	2888	171	3020	165	3977	125	4419	113	4892	102	4469	116	7889	66	7808	65	7859	66	11 400	45	11 538	46
3,90	438	1151	2238	226	2937	173	3071	166	4045	126	4495	114	4976	103	4544	117	8022	66	7940	66	7992	66	11 592	46	11 730	46
4,00	**442**	**1171**	**2276**	**228**	**2987**	**174**	**3123**	**167**	**4113**	**127**	**4570**	**115**	**5055**	**104**	**4619**	**118**	**8154**	**67**	**8072**	**66**	**8124**	**67**	**11 783**	**46**	**11 921**	**47**
4,10	445	1190	2313	230	3036	176	3175	169	4181	128	4645	116	5142	105	4693	119	8285	67	8204	67	8255	67	11 973	47	12 112	47
4,20	449	1209	2351	232	3085	177	3226	170	4248	129	4720	117	5225	106	4768	120	8416	68	8335	67	8386	68	12 163	47	12 302	47
4,30	452	1229	2388	233	3134	178	3277	171	4315	130	4795	117	5307	107	4842	121	8547	68	8466	68	8517	68	12 352	47	12 491	48
4,40	456	1248	2425	235	3183	180	3328	173	4382	131	4869	118	5389	107	4915	122	8677	69	8596	68	8647	69	12 540	48	12 680	48
4,50	459	1267	2463	237	3231	181	3378	174	4449	132	4943	119	5471	108	4989	122	8807	69	8726	69	8777	69	12 728	48	12 868	48
4,60	462	1286	2500	238	3280	182	3429	175	4515	133	5017	120	5553	109	5062	123	8936	70	8855	69	8906	70	12 915	48	13 056	49
4,70	465	1305	2536	240	3328	184	3479	176	4582	134	5091	121	5634	110	5135	124	9065	70	8984	70	9035	70	13 102	48	13 243	49
4,80	468	1324	2573	242	3376	185	3529	177	4648	135	5164	122	5715	110	5208	125	9194	71	9112	70	9164	70	13 288	49	13 429	49
4,90	471	1343	2610	243	3424	186	3579	179	4714	136	5237	122	5796	111	5281	125	9322	71	9240	70	9292	71	13 474	49	13 615	50
5,00	**474**	**1362**	**2646**	**245**	**3472**	**187**	**3629**	**180**	**4780**	**136**	**5310**	**123**	**5877**	**112**	**5353**	**126**	**9450**	**72**	**9368**	**71**	**9420**	**71**	**13 659**	**49**	**13 801**	**50**

Tab. 25. K určení maximálního stejnosměrného proudu I_m a počtu závitů N vinutí pro indukčnost 1 mH u feritových jader ETD v závislosti na velikosti vzduchové mezery

Vzduch. mezera (mm)	ETD 29		ETD 34		ETD 39		ETD 44		ETD 49	
	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N
0,05	393	29	455	26	536	24	649	21	736	20
0,10	505	36	581	32	676	29	812	25	913	23
0,15	604	41	692	37	800	33	957	28	1073	26
0,20	695	45	795	40	916	36	1092	31	1221	29
0,25	769	49	878	44	1009	39	1201	34	1340	31
0,30	838	53	956	47	1097	42	1303	36	1452	33
0,35	903	56	1029	50	1179	45	1400	38	1558	35
0,40	966	59	1100	53	1258	47	1492	40	1660	37
0,45	1025	62	1167	55	1334	49	1581	42	1758	38
0,50	1083	65	1232	58	1408	51	1668	44	1853	40
0,60	1187	70	1350	62	1541	55	1824	47	2024	43
0,70	1286	75	1461	66	1666	59	1971	50	2186	46
0,80	1380	79	1567	70	1786	62	2111	53	2341	48
0,90	1470	83	1669	73	1901	65	2246	56	2490	51
1,00	1557	87	1768	77	2012	68	2377	58	2633	53
1,10	1635	90	1856	80	2112	71	2494	60	2763	55
1,20	1711	94	1942	83	2209	74	2608	63	2888	57
1,30	1784	97	2025	86	2303	76	2718	65	3009	59
1,40	1856	100	2106	89	2394	79	2826	67	3127	61
1,50	1925	103	2185	91	2483	81	2930	69	3243	63
1,60	1993	106	2262	94	2570	83	3033	71	3356	64
1,70	2060	109	2337	97	2655	85	3133	73	3466	66
1,80	2125	112	2411	99	2739	88	3231	75	3574	68
1,90	2189	114	2483	101	2821	90	3327	76	3680	69
2,00	2252	117	2555	103	2901	92	3422	78	3785	71
2,10	2318	119	2629	105	2986	93	3522	79	3895	72
2,20	2383	121	2703	107	3069	95	3620	81	4003	73
2,30	2448	123	2776	109	3152	97	3717	82	4110	75
2,40	2512	125	2848	111	3234	98	3813	83	4216	76
2,50	2575	127	2920	113	3315	100	3908	85	4321	77
2,60	2637	129	2990	114	3395	101	4003	86	4425	78
2,70	2699•	131	3061	116	3474	102	4096	87	4529	79
2,80	2761	133	3130	117	3553	104	4189	88	4631	80
2,90	2822	134	3200	119	3632	105	4281	89	4733	81
3,00	2883	136	3268	120	3709	106	4373	91	4834	82
3,10	2943	138	3336	122	3787	108	4464	92	4934	83
3,20	3003	139	3404	123	3863	109	4554	93	5034	84
3,30	3062	141	3472	124	3940	110	4644	94	5133	85
3,40	3121	142	3539	126	4016	111	4733	95	5232	86
3,50	3180	144	3605	127	4091	112	4822	95	5330	87
3,60	3239	145	3672	128	4166	113	4911	96	5427	87
3,70	3297	146	3738	129	4241	114	4998	97	5524	88
3,80	3355	148	3803	130	4315	115	5086	98	5621	89
3,90	3413	149	3869	132	4389	116	5173	99	5717	90
4,00	3470	150	3934	133	4463	117	5260	100	5813	91
4,10	3527	151	3999	134	4537	118	5346	101	5908	91
4,20	3584	153	4063	135	4610	119	5433	101	6003	92
4,30	3641	154	4127	136	4683	120	5518	102	6098	93
4,40	3698	155	4192	137	4755	121	5604	103	6193	93
4,50	3754	156	4255	138	4828	122	5689	104	6287	94
4,60	3810	157	4319	139	4900	123	5774	104	6380	95
4,70	3866	157	4383	140	4972	124	5859	105	6474	95
4,80	3922	159	4446	141	5043	124	5943	106	6567	96
4,90	3978	160	4509	142	5115	125	6027	106	6660	96
5,00	4034	161	4572	142	5186	126	6111	107	6753	97

Tab. 26. K určení maximálního stejnosměrného proudu I_m a počtu závitů N vinutí pro indukčnost 1 mH u feritových jader RM v závislosti na velikosti vzduchové mezery

Vzduch. mezera (mm)	RM 5		RM 6		RM 8		RM 10		RM 12		RM 14	
	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N	I_m(mA)	N
0,05	172	46	215	39	321	28	405	24	522	20	634	18
0,10	238	61	294	50	430	36	539	30	683	25	816	22
0,15	292	71	360	59	523	42	653	35	823	29	976	25
0,20	342	80	420	66	608	47	758	39	951	32	1124	28
0,25	383	88	470	73	678	52	843	42	1056	35	1244	30
0,30	420	96	505	79	742	56	923	46	1153	37	1356	33
0,35	456	102	558	84	803	60	997	49	1244	40	1461	35
0,40	489	108	599	89	861	63	1069	52	1332	42	1562	37
0,45	522	114	638	94	916	67	1137	54	1415	44	1658	38
0,50	553	119	676	98	969	70	1203	57	1497	46	1752	40
0,60	609	129	744	107	1066	75	1322	61	1643	50	1921	43
0,70	661	139	808	114	1157	81	1434	65	1781	53	2080	46
0,80	711	147	869	121	1243	85	1541	69	1912	56	2232	49
0,90	759	154	927	127	1326	90	1643	73	2038	59	2378	51
1,00	806	162	984	133	1406	94	1742	76	2160	62	2519	53
1,10	847	169	1035	139	1478	98	1831	79	2269	64	2646	56
1,20	888	175	1084	144	1548	102	1917	82	2375	67	2769	58
1,30	927	182	1131	150	1616	105	2000	85	2478	69	2887	60
1,40	965	188	1177	155	1681	109	2081	88	2578	72	3003	62
1,50	1002	194	1222	159	1745	112	2160	91	2675	74	3116	64
1,60	1038	200	1266	164	1808	115	2237	94	2770	76	3226	66
1,70	1073	205	1309	168	1869	119	2313	96	2863	78	3334	67
1,80	1108	210	1352	173	1929	122	2387	98	2955	80	3440	69
1,90	1142	215	1393	177	1988	124	2459	101	3044	82	3543	71
2,00	1175	220	1434	181	2045	127	2531	103	3132	84	3645	72
2,10	1210	224	1476	184	2106	130	2605	105	3224	85	3752	74
2,20	1244	228	1518	188	2165	132	2679	107	3315	87	3857	75
2,30	1278	232	1559	191	2224	134	2752	109	3405	88	3962	76
2,40	1312	236	1600	194	2283	136	2824	111	3494	90	4065	77
2,50	1345	240	1641	197	2340	139	2895	112	3582	91	4167	79
2,60	1378	243	1681	200	2398	141	2966	114	3669	92	4268	80
2,70	1411	247	1721	203	2454	143	3036	116	3756	94	4369	81
2,80	1444	250	1761	205	2511	145	3105	117	3842	95	4469	82
2,90	1476	253	1800	208	2567	146	3175	119	3927	96	4567	83
3,00	1508	256	1839	211	2622	148	3243	120	4011	97	4666	84
3,10	1540	260	1878	213	2677	150	3311	121	4095	99	4763	85
3,20	1571	262	1916	216	2732	152	3379	123	4179	100	4860	86
3,30	1602	265	1954	218	2786	153	3446	124	4262	101	4956	87
3,40	1634	268	1992	220	2840	155	3513	125	4344	102	5052	88
3,50	1665	271	2030	222	2894	156	3579	127	4427	103	5147	89
3,60	1695	274	2068	225	2948	158	3645	128	4508	104	5242	90
3,70	1726	276	2105	227	3001	159	3711	129	4589	105	5336	90
3,80	1757	279	2142	229	3054	161	3777	130	4670	106	5430	91
3,90	1787	281	2179	231	3107	162	3842	131	4751	107	5524	92
4,00	1817	283	2216	233	3159	164	3907	133	4831	108	5617	93
4,10	1848	286	2253	235	3211	165	3971	134	4911	108	5709	94
4,20	1878	288	2290	236	3264	166	4036	135	4990	109	5802	94
4,30	1908	290	2326	238	3315	168	4100	136	5069	110	5894	95
4,40	1937	292	2362	240	3367	169	4164	137	5148	111	5985	96
4,50	1967	294	2399	242	3419	170	4228	138	5227	112	6077	96
4,60	1997	297	2435	243	3470	171	4291	139	5305	112	6168	97
4,70	2026	299	2471	245	3521	172	4354	140	5384	113	6258	98
4,80	2056	301	2506	247	3572	174	4417	141	5461	114	6349	98
4,90	2085	302	2542	248	3623	175	4480	141	5539	115	6439	99
5,00	2114	304	2578	250	3674	176	4543	142	5617	115	6529	100

5. Návrh feritového jádra pro výkonové transformátory

Základním úkolem při návrhu transformátorů s feritovým jádrem pro výkonový přenos (např. pro použití ve spínaných zdrojích) je pro daný výkon zvolit ten typ jádra, který by byl vhodný tvarem i rozměrem pro dané použití, zvolit pro zadané dovolené oteplení vinutí i jádra potřebnou velikost magnetické indukce a zjistit maximální proudovou hustotu ve vodiči vinutí. Výkonové transformátory pracují obvykle s napětím pravoúhlého průběhu, proto je nutné pro určení maximální dovolené magnetické indukce přepočítat ztráty v jádru, které jsou udávány při napětí sinusového průběhu.

Výrobci uvádějí specifické ztráty feritových materiálů při napětí sinusového průběhu obvykle v mW/g nebo mW/cm³. Tyto ztráty se udávají při určitém kmitočtu f_0 (obvykle 15, 25 nebo 100 kH), při dané teplotě (obvykle 25 a 100 °C) a při určitém zdvihu magnetické indukce ΔB_0 (obvykle 200 mT).

Pro jednočinné a blokovací měniče se uvažuje se zdvihem magnetické indukce 200 mT, pro dvojčinné 400 mT.

Pro celkové ztráty při napětí pravoúhlého průběhu platí výraz:

$$P_c = p_{Fe0}\left(\frac{f}{f_0}\right)^m \cdot \left(\frac{\Delta B}{\Delta B_0}\right)^n . V_e . \gamma . r \qquad (5.\ 1),$$

kde p_{Fe0} je měrný ztrátový činitel při sinusovém průběhu napětí,
f pracovní kmitočet,
f_0 kmitočet, při němž je p_{Fe0} udáván,
ΔB požadovaný zdvih magnetické indukce,
ΔB_0 zdvih magnetické indukce, při němž je p_{Fe0} udáván,
V_e efektivní objem ferit. jádra,
γ měrná hmotnost materiálu jádra (4,8 g / cm^3 pro materiál H21),
r konstanta (= 0,8),
m ≈ 1,3,
n ≈ 2,3
(m, n ... konstanty pro ferit)

Celkové ztráty v jádru lze určit také ze vztahu

$$P_c = \frac{\Delta\vartheta_{Fe}}{R_{th}} \qquad [\mathrm{W: K, KW^{-1}}] \qquad (5.\ 2),$$

kde $\Delta\vartheta_{Fe}$ je oteplení jádra vlivem ztrát,
R_{th} tepelný odpor součástky.

Tepelný odpor součástky s feritovým jádrem lze určit ze vztahu

$$R_{th} = \frac{1}{S_v}\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{d}{\lambda}\right) \qquad (5.\ 3),$$

kde S_v je povrch součástky v mm^2,
d nejmenší rozměr součástky v mm,
α činitel přestupu tepla na povrch,
λ činitel přestupu tepla dovnitř součástky.

Při volném chlazení bez nuceného oběhu vzduchu jsou

$\alpha = 0{,}029 \cdot 10^{3}\,\mathrm{WK^{-1}mm^{-2}}$ a

$\lambda = 0{,}35 \cdot 10^{3}\,\mathrm{WK^{-1}\,mm^{-1}}$.

Velikost R_{th} pro daná jádra jsou uvedeny na průbězích v obr. 21 a 22 a v tabulkách pro návrhy.

Ze vztahů (5 . 1) a (5 . 2) můžeme určit dovolený zdvih magnetické indukce:

$$\Delta B = \Delta B_0 \left(\frac{f_0^{\,m} . \Delta\vartheta_{Fe}}{p_{Fe0} . f^m . \gamma . r . V_e . R_{th}} \right)^{1/n} \quad (5.\ 4),$$

nebo

$$\Delta B = C_B \left(\frac{\Delta\vartheta_{Fe}}{V_e . R_{th}} \right)^{1/n},$$

kde

$$C_B = \Delta B_0 \left(\frac{f_0^{\,m}}{p_{Fe0} . f^m . \gamma . r} \right)^{1/n}.$$

Pro feritový materiál H21 jsou činitelé C_B:

f = 20 kHz - C_B = 25,2,
50 kHz - C_B = 15,02,
100 kHz - C_B = 10,15.

Celkový přenesený výkon jádrem lze určit ze vztahu:

$$P_c = c . f . \Delta B . J . f_{Cu} . S_N . S_e \quad (5.\ 5),$$

kde c je činitel pro druh provozu (pro dvojčinný $c = 1$, pro jednočinný $c = 1/2p^{1/2}$, kde $p = t_1 f$ je spínací poměr, při $p = 0{,}5$ je $c = 0{,}71$, pro blokovací provoz $c = 0{,}61$),

f pracovní kmitočet v Hz,

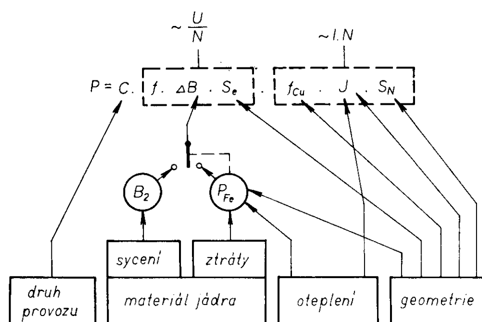
ΔB zdvih magnetické indukce v T,

J proudová hustota v A/mm^2,

f_{Cu} čin. plnění mědi (obvykle 0,4),

S_N průřez vinutí v mm^2,

S_e průřez jádra v mm^2.



Obr. 23. Rozbor vztahu pro výpočet přenášeného výkonu transformátoru s feritovým jádrem a závislosti na různých parametrech: P je přenášený výkon, C konstanta podle druhu provozu, f kmitočet, Δ B zdvih magnetické indukce, S_e efektivní průřez jádra, f_{Cu} činitel plnění cívky, J proudová hustota, S_N průřez vinutí, Δ B_2 maximální zdvih indukce a P_{Fe} ztráty v jádru

Při tomto vztahu je zanedbán úbytek napětí na odporu vinutí, rozptylová indukčnost a také magnetizační proud u transformátorů pro propustné měniče.

Přehledný rozbor uvedeného vztahu je na obr. 23.

Protože feritová jádra mají obvykle nerovnoměrný průřez po délce magnetické silokřivky, je nutno zdvih magnetické indukce upravit tak, aby v tzv. minimálním průřezu S_{min} nebyl překročen:

$$\Delta B_2 = \Delta B \frac{S_{min}}{S_e} \quad (5.\ 6),$$

kde S_e je efektivní průřez fer. jádra,

S_{min} minimální průřez fer. jádra,

ΔB požadovaný zdvih magnetické indukce.

Oba parametry jsou udávány pro jednotlivé druhy feritových jader. Ze vztahů (5 . 4) a (5 . 6) lze tedy určit maximální dovolený zdvih magnetické indukce.

Proudová hustota ve vodiči vinutí je dána vztahem:

$$J = \frac{\sum I . N}{S_n . f_{Cu}} \quad (5.\ 7),$$

kde S_N je průřez vinutí,

f_{Cu} činitel plnění mědi,

I proud v jednotlivých vinutích,

N počet závitů jednotlivých vinutí.

Proudová hustota je omezena oteplením vinutí $\Delta\vartheta_{Cu}$, způsobeném ztrátami v mědi

$$P_{Cu} = \left(\sum I . N\right)^2 . A_R = \frac{\Delta\vartheta_{Cu}}{R_{th}} \quad (5.\ 8),$$

kde A_R je odporový činitel $= \dfrac{\rho . l_N}{f_{Cu} . V_N}$,

V_N objem vinutí,

l_N střední délka závitu vinutí,

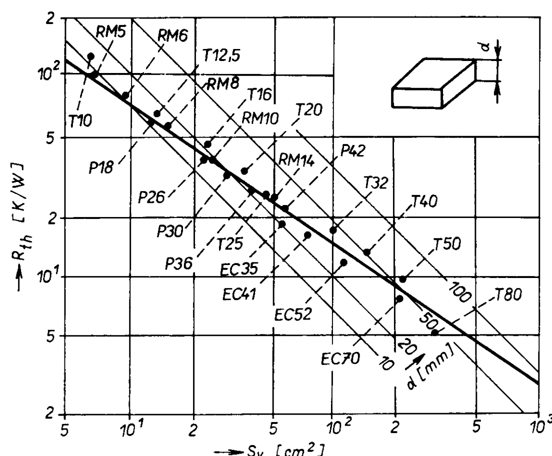
ρ měrný odpor mědi (= 21 μΩmm).

S použitím vztahu (5 . 7) a (5 . 8) dostáváme pro proudovou hustotu vztah:

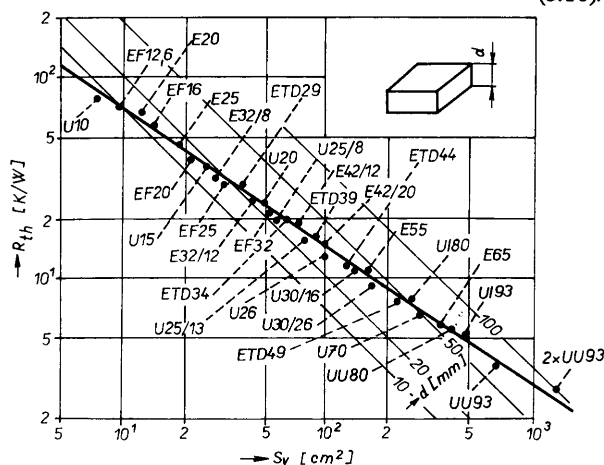
$$J = \left(\frac{\Delta\vartheta_{Cu}}{\rho . f_{Cu} . V_N . R_{th}} \right)^{1/2} \quad (5.\ 9).$$

Optimální přenos výkonu transformátorem je omezen dovoleným oteplením, které je složeno ze dvou stejných dílů a to z oteplení $\Delta\delta_{Fe}$ feritového jádra, způsobeného ztrátami v jádře, a oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu}$, způsobeného ztrátami v mědi. V důsledku toho, že zdvih indukce B_2, vypočtený ze vztahu (5 . 6), je menší než vypočtený ze vztahu (5 . 4), jsou i ztráty v jádru menší. Proto je nutno ztráty ve vinutí korigovat následujícím vztahem

$$\Delta\vartheta_{Cu2} = \Delta\vartheta_{Cu} + \left[1 - \left(\frac{\Delta B_2}{\Delta B} \right)^n \right] \Delta\vartheta_{Fe} \quad (5.10).$$



▲ *Obr. 21. Závislost tepelného odporu součástky s feritovým jádrem na celkové vyzařovací ploše S_v a nejmenším rozměru „d" pro feritová jádra hrníčková, RM, EC a toroidní*



▲ *Obr. 22. Závislost tepelného odporu součástky s feritovým jádrem na celkové vyzařovací ploše S_v a nejmenším rozměru „d" pro feritová jádra E, EF, ETD a U*

Pak dosazením do vztahu (5. 9) dostáváme větší proudové hustoty a tím také větší přenášený výkon. Na základě výše uvedených vztahů byly zpracovány tab.

Tab. 27. Údaje k určení max. přenášeného výkonu transformátorů s feritovými hrníčkovými jádry (FONOX H21)

	Veličina	Typ jádra				
		P 18	P 26	P 30	P 36	P 42
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	43	93	137	202	265
	Min. průřez jádra S_{min} (mm²)	35	74	112	173	214
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	1120	3460	6100	10 600	18 200
	Průřez vinutí S_N (mm²)	16	32	48	63	140
	Střední délka závitu l_N (mm)	35,6	52	60	73	81
	Objem vinutí V_N (mm³)	570	1664	1880	4599	11 340
	Tepelný odpor R_{th} (KW⁻¹) součástky	64	36	30	26,5	22
	Maxim. zdvih indukce ΔB (mT) pro $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K					
	f = 20 kHz	633	499	421	349	299
	f = 50 kHz	377	297	251	208	178
	f = 100 kHz	255	201	170	141	120
	Max. proud. hustota J (Amm⁻²) pro $\Delta\delta_{Cu}$ = 15 K	7	5,5	4,6	3,8	2,7
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	326	318	327	343	299
	f = 50 kHz	326	297	251	208	178·
	f = 100 kHz	255	201	170	141	120
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	26,7	24,7	21,6	15,6	15
	f = 50 kHz	19,3	15	15	15	15
	f = 100 kHz	15	15	15	15	15
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	9,3	7	5,4	3,8	2,7
	f = 50 kHz	7,9	5,5	4,6	3,8	2,7
	f = 100 kHz	7	5,5	4,6	3,8	2,7
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	17	53	93	134	240
	f = 50 kHz	36	97	152	201	357
	f = 100 kHz	49	132	206	278	480
B	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	163	159	164	171	162
	f = 50 kHz	163	159	164	171	162
	f = 100 kHz	163	159	164	141	120
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,3	28,9	28,2	27,1	26,3
	f = 50 kHz	27,8	26,4	24,4	27,1	17,9
	f = 100 kHz	24,6	21,3	16,2	15	15
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	9,8	7,6	6,2	5,1	3,5
	f = 50 kHz	9,5	7,2	5,8	5,1	2,9
	f = 100 kHz	9	6,5	4,7	3,8	2,7
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	6,2	20,4	38	63	119
	f = 50 kHz	15,1	47	95	158	248
	f = 100 kHz	28,7	87	146	194	341
C	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	163	159	164	171	162
	f = 50 kHz	163	159	164	171	162
	f = 100 kHz	163	159	164	141	120
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,3	28,9	28,2	27,1	26,3
	f = 50 kHz	27,8	26,4	24,4	27,1	17,9
	f = 100 kHz	24,6	21,3	16,2	15	15
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	9,8	7,6	6,2	5,1	3,5
	f = 50 kHz	9,5	7,2	5,8	5,1	2,9
	f = 100 kHz	9	6,5	4,7	3,8	2,7
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	5,3	17,5	33	54	102
	f = 50 kHz	13	40	82	136	213
	f = 100 kHz	25	75	124	167	293

A = dvojčinný propustný měnič, $\Delta B \leq 400$ mT, $\Delta\delta$ = 30 K, B = jednočinný propustný měnič, $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta$ = 30 K, C = jednočinný blokující měnič, $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta$ = 30 K

27 až 34, v nichž jsou uvedeny kmitočtové charakteristiky přenášeného výkonu pro jednotlivá feritová jádra.

Po zvolení potřebného jádra lze vypočítat další potřebné parametry jako:
- napětí na závit U/N,
- efektivní proud I,
- špičkový proud $I_{šp}$,
- intenzitu magnetického pole H_s,
- efektivní permeabilitu μ_e.

Potřebné vztahy jsou v tab. 35 (str. 145).

Tab. 28. K určení max. přenášeného výkonu transformátoru s feritovými jádry E

	Veličina	Typ jádra							
		E20	E25	E32/7,8	E32/12	E42/15	E42/20	E55	E65
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	22,4	33,5	59,1	93,1	172	230	328	528
	Minim. průřez jádra S_{min} (mm²)	21,2	31,4	58,5	90,3	169	226	320	520
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	935	1720	3790	6100	16 600	22 250	41 300	80 100
	Průřez vinutí S_N (mm²)	40	45	105	105	177	172	280	394
	Střední délka závitu l_N (mm)	42	52,5	67	76	87	100	113	150
	Objem vinutí V_N (mm³)	1680	2360	7035	7980	15 400	17 200	31 600	59 100
	Tepelný odpor R_{th} součástky (KW⁻¹)	60	45	30	24	19	15	11	6
	Max. zdvih indukce ΔB (mT) pro								
	$\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K a f = 20 kHz	546	534	395	413	343	363	319	317
	f = 50 kHz	325	318	235	246	204	216	190	189
	f = 100 kHz	220	215	159	166	138	146	128	128
	Max. proudová hustota J (Amm⁻²) pro $\Delta\delta_{Cu2}$ = 15 K	4,2	4,1	2,9	3,1	2,5	2,6	2,3	2,2
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT)								
	f = 20 kHz	379	375	395	388	343	363	319	317
	f = 50 kHz	325	318	235	246	204	216	190	189
	f = 100 kHz	220	215	159	166	138	146	128	128
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K)								
	f = 20 kHz	23,5	23,3	15	17	15	15	15	15
	f = 50 kHz	15	15	15	15	15	15	15	15
	f = 100 kHz	15	15	15	15	15	15	15	15
	Max. proudová hustota J_2 (Amm⁻²)								
	f = 20 kHz	5,2	5,1	2,9	3,1	2,5	2,6	2,3	2,2
	f = 50 kHz	4,2	4,1	2,9	3,1	2,5	2,6	2,3	2,2
	f = 100 kHz	4,2	4,1	2,9	3,1	2,5	2,6	2,3	2,2
	Max. přenášený výkon P (W)								
	f = 20 kHz	14	23	57	97	202	295	519	1130
	f = 50 kHz	24,5	39	85	149	310	444	803	1730
	f = 100 kHz	33	53	114	201	420	600	1080	2340
B	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT)								
	f = 20 kHz	190	188	198	194	196	197	195	197
	f = 50 kHz	190	188	198	194	196	197	190	189
	f = 100 kHz	190	188	158	166	138	146	128	128
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K)								
	f = 20 kHz	28,7	28,7	26,9	27,4	25,9	26,3	25,2	25
	f = 50 kHz	25,6	25,5	19,9	21,3	16,3	17,9	15	15
	f = 100 kHz	19,3	19	15	15	15	15	15	15
	Max. proudová hustota J_2 (Amm⁻²)								
	f = 20 kHz	5,8	5,7	3,9	4,1	3,2	3,1	2,9	2,9
	f = 50 kHz	5,5	5,35	3,35	3,6	2,6	2,9	2,3	2,2
	f = 100 kHz	4,8	4,6	2,9	3,1	2,5	2,6	2,3	2,2
	Max. přenášený výkon P (W)								
	f = 20 kHz	5,6	9,2	27	44	108	137	294	675
	f = 50 kHz	13,3	21,5	58,5	97	220	321	570	1228
	f = 100 kHz	23,2	37	81	143	298	426	768	1663
C	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT)								
	f = 20 kHz	190	188	198	194	196	197	195	197
	f = 50 kHz	190	188	198	194	196	197	190	189
	f = 100 kHz	190	188	159	166	138	146	128	128
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K)								
	f = 20 kHz	28,7	28,7	26,9	27,4	25,9	26,3	25,2	25
	f = 50 kHz	25,6	25,5	19,9	21,3	16,3	17,9	15	15
	f = 100 kHz	19,3	19	15	15	15	15	15	15
	Max. proudová hustota J_2 (Amm⁻²)								
	f = 20 kHz	5,8	5,7	3,9	4,1	3,2	3,1	2,9	2,9
	f = 50 kHz	5,5	5,35	3,35	3,6	2,6	2,9	2,3	2,2
	f = 100 kHz	4,8	4,6	2,9	3,1	2,5	2,6	2,3	2,2
	Max. přenášený výkon P (W)								
	f = 20 kHz	4,87	7,7	23,2	38	93	118	249	580
	f = 50 kHz	11,4	18,5	50	83	189	276	490	1055
	f = 100 kHz	20	32	70	123	256	366	660	1429

A = dvojčinný proputný měnič $\Delta B \leq 400$ mT, $\Delta\delta$ = 30 K, B = jednočinný propustný měnič $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta$ = 30 K, C = jednočinný blokovací měnič $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta$ = 30 K

Obr. 24. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů na feritových hrníčkových jádrech:
a) dvojčinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, Δδ = 30 K,
b) jednočinný propustný měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K,
c) jednočinný blokující měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K

Tab. 29. Údaje k určení max. přenášeného výkonu transformátorů s feritovými jádry EF

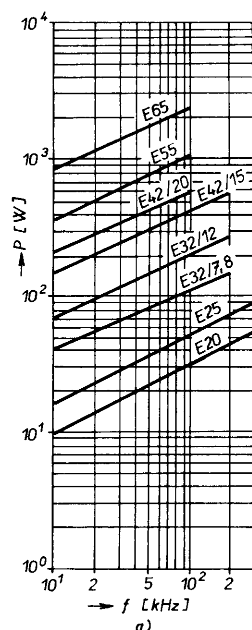
	Veličina	Typ jádra EF12,6	EF 16	EF 20	EF 25	EF 32
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	13	20,1	33,5	52,5	83
	Min. průřez jádra S_{min} (mm²)	12,2	19,4	31,6	51,5	81,4
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	384	754	1500	3020	6180
	Průřez vinutí S_N (mm²)	11,6	22,3	34	56	108,5
	Střední délka závitu l_N (mm)	27,2	34	41,2	52	64,4
	Objem vinutí V_N (mm³)	316	758	1400	2910	6990
	Tepelný odpor součástky R_{th} (KW⁻¹)	77	54	39	28	21
	Maxim. zdvih indukce ΔB (mT) pro $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K					
	f = 20 kHz	928	807	684	556	448
	f = 50 kHz	553	481	408	331	291
	f = 100 kHz	375	325	276	224	197
	Max. proud. hustota J (Amm⁻²) pro $\Delta\delta_{Cu}$ = 15 K	8,6	6,6	5,7	4,7	3,5
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	375	386	384	392	392
	f = 50 kHz	375	386	384	331	291
	f = 100 kHz	375	325	276	224	197
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	28,1	27,2	26	23,3	21
	f = 50 kHz	23,9	21	17	15	15
	f = 100 kHz	15	15	15	15	15
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	11,8	8,9	7,6	5,8	4,1
	f = 50 kHz	10,8	7,8	6,1	4,7	3,5
	f = 100 kHz	8,6	6,6	5,7	4,7	3,5
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	5,3	12,3	27	54	115
	f = 50 kHz	12,2	27	53,4	91	183
	f = 100 kHz	19,5	38,5	72	124	248
B	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	188	193	187	196	196
	f = 50 kHz	188	193	187	196	196
	f = 100 kHz	188	193	187	196	196
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,6	29,5	29,2	28,6	28,2
	f = 50 kHz	28,7	28,2	27,2	25,5	24
	f = 100 kHz	26,9	25,6	23,7	19	15,2
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	12,05	9,3	8	6,5	4,8
	f = 50 kHz	11,85	9,1	7,7	6,1	4,4
	f = 100 kHz	11,5	8,6	7,2	5,3	3,5
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	1,95	4,6	9,7	21	48
	f = 50 kHz	4,8	11,4	23,3	50	110
	f = 100 kHz	9,3	21,1	43,5	87	175
C	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	188	193	187	196	196
	f = 50 kHz	188	193	187	196	196
	f = 100 kHz	188	193	187	196	196
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,6	29,5	29,2	28,6	28,2
	f = 50 kHz	28,7	28,2	27,2	25,5	24
	f = 100 kHz	26,9	25,6	23,7	19	15,2
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	12,05	9,3	8	6,5	4,8
	f = 50 kHz	11,85	9,1	7,7	6,1	4,4
	f = 100 kHz	11,5	8,6	7,2	5,3	3,5
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	1,7	4	8,3	18	41
	f = 50 kHz	4,1	9,8	20	43	95
	f = 100 kHz	8	18	37	75	150

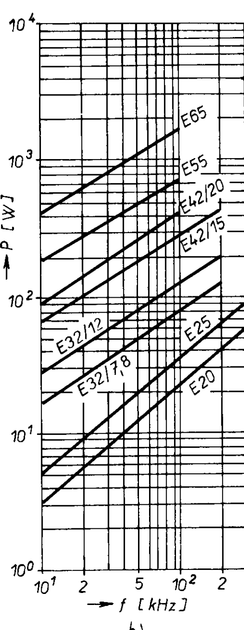
A = dvojčinný propustný měnič, $\Delta B \leq 400$ mT, $\Delta\delta = 30$ K ($\Delta\delta = \Delta\delta_{Fe} + \Delta\delta_{Cu}$), B = jednočinný propustný měnič, $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta = 30$ K, C = jednočinný blokující měnič, $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta = 30$ K

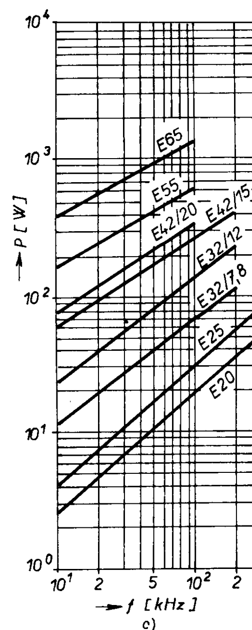
Tab. 31. Údaje k určení max. přenášeného výkonu transformátorů s feritovými jádry EC

	Veličina	Typ jádra EC 35	EC 41[1]	EC 52	EC 70
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	84,3	121	180	279
	Min. průřez jádra S_{min} (mm²)	71	106	141	211
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	6530	10 800	18 800	40 100
	Průřez vinutí S_N (mm²)	97	134	212	469
	Střední délka závitu l_N (mm)	53	62	74	97
	Objem vinutí V_N (mm³)	5140	8310	15 690	45 490
	Tepelný odpor součástky R_{th} (KW⁻¹)	18	15	11	7
	Maxim. zdvih indukce ΔB (mT) pro $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K				
	f = 20 kHz	511	444	400	350
	f = 50 kHz	305	265	238	209
	f = 100 kHz	206	179	161	141
	Max. proud. hustota J (Amm⁻²) pro $\Delta\delta_{Cu}$ = 15 K	4,4	3,8	3,2	2,4
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	337	350	313	303
	f = 50 kHz	305	265	238	209
	f = 100 kHz	206	179	161	141
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	24,2	21,3	21,5	19,2
	f = 50 kHz	15	15	15	15
	f = 100 kHz	15	15	15	15
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	5,6	4,5	3,85	2,7
	f = 50 kHz	4,4	3,8	3,2	2,4
	f = 100 kHz	4,4	3,8	3,2	2,4
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	123	204	368	856
	f = 50 kHz	219	327	581	1313
	f = 100 kHz	296	441	786	1770
B	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	169	175	157	152
	f = 50 kHz	169	175	157	152
	f = 100 kHz	169	175	157	141
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	28,8	28,2	28,3	27,8
	f = 50 kHz	26,1	24,2	24,2	22,8
	f = 100 kHz	20,5	15,8	15,8	15
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	6,1	5,2	4,4	3,2
	f = 50 kHz	5,8	4,8	4,1	2,9
	f = 100 kHz	5,1	3,9	3,3	2,4
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	48	84	150	362
	f = 50 kHz	114	193	349	904
	f = 100 kHz	200	314	561	1258
C	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	169	175	157	152
	f = 50 kHz	169	175	157	152
	f = 100 kHz	169	175	157	141
	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	28,8	28,2	28,3	27,8
	f = 50 kHz	26,1	24,2	24,2	22,8
	f = 100 kHz	20,5	15,8	15,8	15
	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	6,1	5,2	4,4	3,2
	f = 50 kHz	5,8	4,8	4,1	2,9
	f = 100 kHz	5,1	3,9	3,3	2,4
	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	42	72	129	311
	f = 50 kHz	98	166	300	777
	f = 100 kHz	172	270	482	1080

A = dvojčinný propustný měnič, ΔB = 400 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, B = jednočinný propustný měnič, ΔB = 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, C = jednočinný blokující měnič, ΔB = 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, [1] připravuje se, předběžné údaje





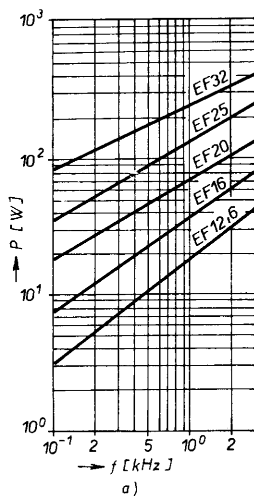


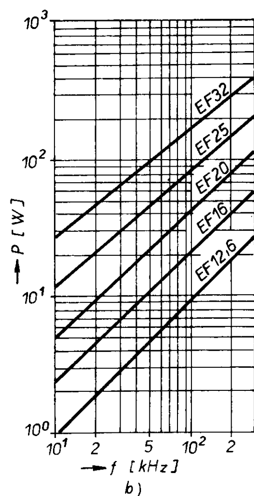
Obr. 25. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů s feritovými jádry E: dvojčinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, b) jednočinný propustný měnič, ΔB < 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, c) jednočinný blokující měnič, ΔB < 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K

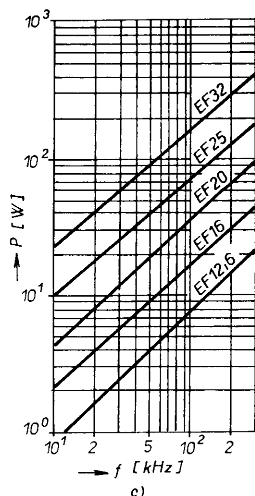
Tab. 30. K určení max. přenášeného výkonu transformátoru s feritovými jádry U

	Veličina	Typ jádra U10/3	U15/7	U20/8	U25/8	U25/13	U26/16	U30/16	U30/26	U70	UI80	UU80	UI93	UU93	M186
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	8,7	33	56	61	106	131	159	268	400	400	400	840	840	1680
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	332	1670	3820	5320	9330	12 800	18 800	34 400	108 700	80 300	103 600	216 000	297 000	594.10³
	Průřez vinutí S_N (mm²)	23	38,2	73	131	131	136	230	230	2x 530	2x 420	2x 840	2x 550	2x 1052	2700
	Střední délka závitu l_N (mm)	26	43,5	54	63	73	80	97	117	144	164	164	195	195	344
	Objem vinutí V_N (mm³)	598	1660	3940	8250	9560	10 880	22 300	26 900	152 600	137 700	275 500	214 500	410 300	929.10³
	Tepelný odpor R_{th} (KW⁻¹) souč.	74	35	24	20	15	13,5	11	9	6,5	7,5	5,5	5	4	2,7
	Max. zdvih indukce ΔB (mT) pro $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K při f = 20 kHz	919	630	518	486	431	393	364	305	213	228	235	177	170	164
	f = 50 kHz	548	376	309	290	257	234	217	182	127	136	140	106	101	98
	f = 100 kHz	370	254	209	196	174	158	147	123	86	92	95	72	68	66
	Max.proudová hustota J (Amm⁻²) pro $\Delta\delta_{Cu2}$ = 15 K	6,3	5,5	4,3	3,3	3,5	3,5	2,7	2,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	400	400	400	400	400	393	364	305	213	228	235	177	170	164
A	f = 50 kHz	400	376	309	290	257	234	217	182	127	136	140	106	101	98
A	f = 100 kHz	370	254	209	196	174	158	147	123	86	92	95	72	68	66
A	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	27,8	24,3	21,7	24,6	17,4	15	15	15	15	15	15	15	15	15
A	f = 50 kHz	22,7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
A	f = 100 kHz	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
A	Max. proudová hustota J_2 (Amm⁻¹), f = 20 kHz	8,7	7,1	5,2	4,2	3,8	3,5	2,7	2,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
A	f = 50 kHz	7,8	5,5	4,3	3,3	3,5	3,5	2,7	2,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
A	f = 100 kHz	6,3	5,5	4,3	3,3	3,5	3,5	2,7	2,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
A	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	5,5	28,6	68	97	164	192	280	397	917	780	1350	1660	2350	5060
A	f = 50 kHz	12,5	40	108	153	250	292	429	606	1400	1188	2070	2550	3830	7560
A	f = 100 kHz	18,7	70	147	207	338	394	580	819	1900	1610	2810	3460	5290	10 200
B	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	177	170	164
B	f = 50 kHz	200	200	200	200	200	200	200	182	127	136	140	106	101	98
B	f = 100 kHz	200	200	200	196	175	158	147	123	86	92	95	72	68	66
B	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,6	28,9	28,3	28,1	27,4	26,8	26,2	24,3	17	18,9	19,6	15	15	15
B	f = 50 kHz	28,5	26,5	24,5	23,6	21,6	19,6	17,6	15	15	15	15	15	15	15
B	f = 100 kHz	26,4	21,3	16,4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
B	Max. proudová hustota J_2 (Amm⁻¹), f = 20 kHz	8,9	7,7	6,0	4,5	4,8	4,7	3,6	3,5	1,5	1,5	1,25	1,3	1,1	0,85
B	f = 50 kHz	8,8	7,4	5,6	4,1	4,2	4,0	2,7	2,7	1,5	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
B	f = 100 kHz	8,4	6,6	4,5	3,3	3,5	3,5	2,7	2,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
B	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	2	11	28	41	76	95	150	244	722	572	854	1208	1980	3590
B	f = 50 kHz	5,1	26,5	65	93	165	202	280	430	994	844	1470	1808	2790	5365
B	f = 100 kHz	9,6	53	105	147	240	280	412	581	1346	1141	1994	2456	3755	7227
C	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	177	170	164
C	f = 50 kHz	200	200	200	200	200	200	200	182	127	136	140	106	101	98
C	f = 100 kHz	200	200	200	196	174	158	147	123	86	92	95	72	68	66
C	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,6	28,9	28,3	28,1	27,4	26,8	26,2	24,3	17	18,9	19,6	15	15	15
C	f = 50 kHz	28,5	26,5	24,5	23,6	21,5	19,6	17,6	15	15	15	15	15	15	15
C	f = 100 kHz	26,4	21,3	16,4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
C	Max. proudová hustota J_2 (Amm⁻¹), f = 20 kHz	8,9	7,7	6,0	4,5	4,8	7,7	3,6	3,5	1,5	1,5	1,25	1,3	1,1	0,85
C	f = 50 kHz	8,8	7,4	5,6	4,1	4,2	4,0	2,7	2,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
C	f = 100 kHz	8,4	7,6	4,5	3,3	3,5	3,5	2,7	2,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	0,85
C	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	1,7	9,5	24	35	65	82	129	210	620	491	734	1038	1701	3084
C	f = 50 kHz	4,4	22,8	56	80	142	174	241	369	854	725	1263	1553	2397	4609
C	f = 100 kHz	8,2	45,5	90	126	206	241	354	499	1156	980	1713	2110	3226	6209

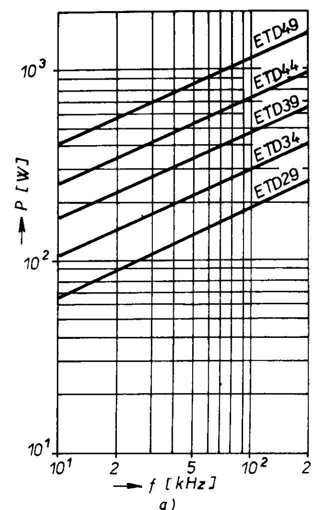
A = dvojčinný proputný měnič $\Delta B \leq 400$ mT, $\Delta\delta = 30$ K, **B** = jednočinný propustný měnič $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta = 30$ K, **C** = jednočinný blokovací měnič $\Delta B \leq 200$ mT, $\Delta\delta = 30$ K

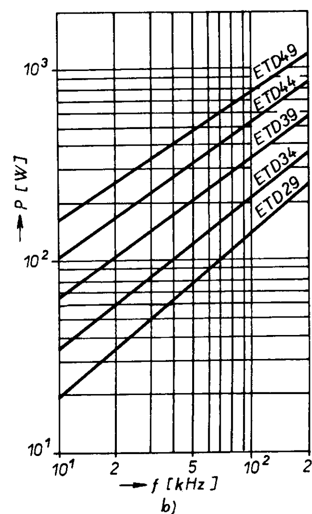


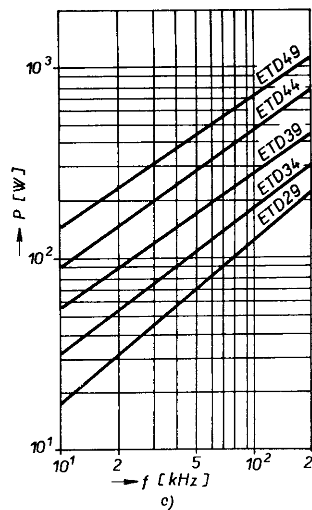




Obr. 26. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů s feritovými jádry EF: a) dvojčinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, Δδ = 30 K, b) jednočinný propustný měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K, c) jednočinný blokující měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K







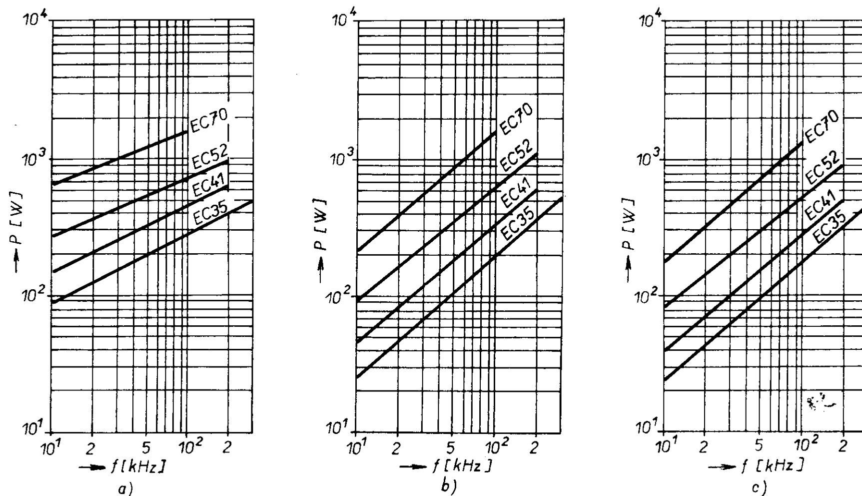
Obr. 27. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů s feritovými jádry ETD: a) dvojčinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, Δδ = 30 K, b) jednočinný propustný měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K, c) jednočinný blokující měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K

Tab. 32. Údaje k určení max. přenášeného výkonu transformátorů s feritovými jádry ETD

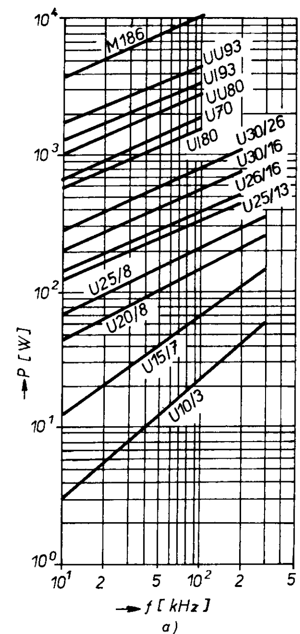
	Veličina	ETD 29	ETD 34	ETD 39	ETD 44	ETD 49
		Typ jádra				
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	76	97,1	125	173	211
	Min. průřez jádra S_{min} (mm²)	70	91,6	123	172	209
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	5377	7640	11 500	17 800	24 000
	Průřez vinutí S_N (mm²)	97	122	178	210	269,4
	Střední délka závitu l_N (mm)	58,8	60,5	69	77,7	86
	Objem vinutí V_N (mm³)	5704	7381	12 280	16 320	23 170
	Tepelný odpor součástky R_{th} (KW⁻¹)	28	20	16	11	8
	Maxim. zdvih indukce ΔB (mT) pro $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K					
	f = 20 kHz	459	456	420	409	413
	f = 50 kHz	273	272	251	244	246
	f = 100 kHz	185	184	169	165	166
	Max. proud. hustota J (Amm⁻²) pro $\Delta\delta_{Cu}$ = 15 K	3,35	3,4	3	3,15	3,1
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	368	377	394	398	396
A	f = 50 kHz	273	272	251	244	246
A	f = 100 kHz	185	184	169	165	166
A	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	21	20,3	17,1	15,9	16,4
A	f = 50 kHz	15	15	15	15	15
A	f = 100 kHz	15	15	15	15	15
A	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	4,0	4,05	3,2	3,25	3,25
A	f = 50 kHz	3,35	3,4	3	3,15	3,1
A	f = 100 kHz	3,35	3,4	3	3,15	3,1
A	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	87	145	224	376	585
A	f = 50 kHz	135	219	335	558	867
A	f = 100 kHz	183	296	459	755	1170
B	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	184	189	197	199	198
B	f = 50 kHz	184	189	197	199	198
B	f = 100 kHz	184	184	169	165	166
B	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$(K), f = 20 kHz	28,2	28,0	27,4	27,1	27,2
B	f = 50 kHz	24	23,5	21,4	20,6	20,9
B	f = 100 kHz	15,2	15	15	15	15
B	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	4,6	4,7	4,1	4,2	4,2
B	f = 50 kHz	4,2	4,35	3,6	3,7	3,7
B	f = 100 kHz	3,4	3,4	3	3,15	3,1
B	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	36	60	102	172	268
B	f = 50 kHz	81	138	224	380	491
B	f = 100 kHz	131	210	320	536	831
C	Max. zdvih indukce ΔB_2(mT), f = 20 kHz	184	189	197	199	198
C	f = 50 kHz	184	189	197	199	198
C	f = 100 kHz	184	184	169	165	166
C	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	28,2	28	27,4	27,1	27,2
C	f = 50 kHz	24	23,5	21,4	20,6	20,9
C	f = 100 kHz	15,2	15	15	15	15
C	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	4,6	4,7	4,1	4,2	4,2
C	f = 50 kHz	4,2	4,35	3,6	3,7	3,7
C	f = 100 kHz	3,4	3,4	3	3,15	3,1
C	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	31	52	88	148	230
C	f = 50 kHz	70	119	192	326	508
C	f = 100 kHz	113	180	275	461	714

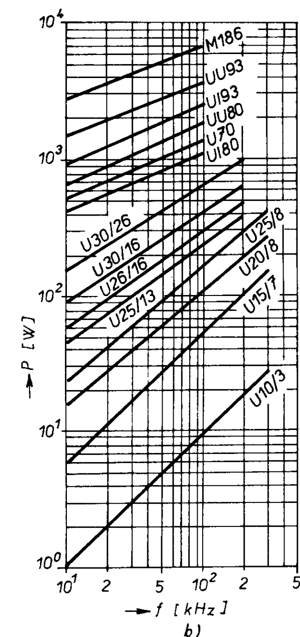
A = dvojčinný propustný měnič, ΔB = 400 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, **B** = jednočinný propustný měnič, ΔB = 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, **C** = jednočinný blokující měnič, ΔB = 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K

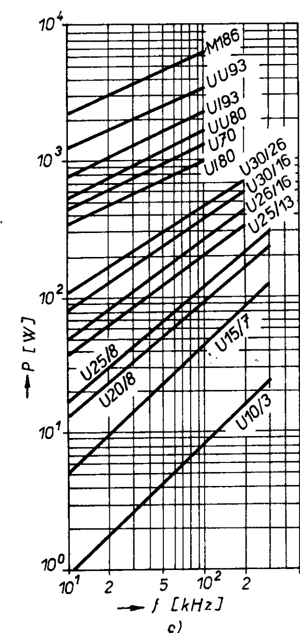
[1] připravuje se, předběžné údaje



Obr. 28. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů s feritovými jádry EC: a) dvojčinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, Δδ = 30 K, b) jednočinný propustný měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K, c) jednočinný blokující měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K





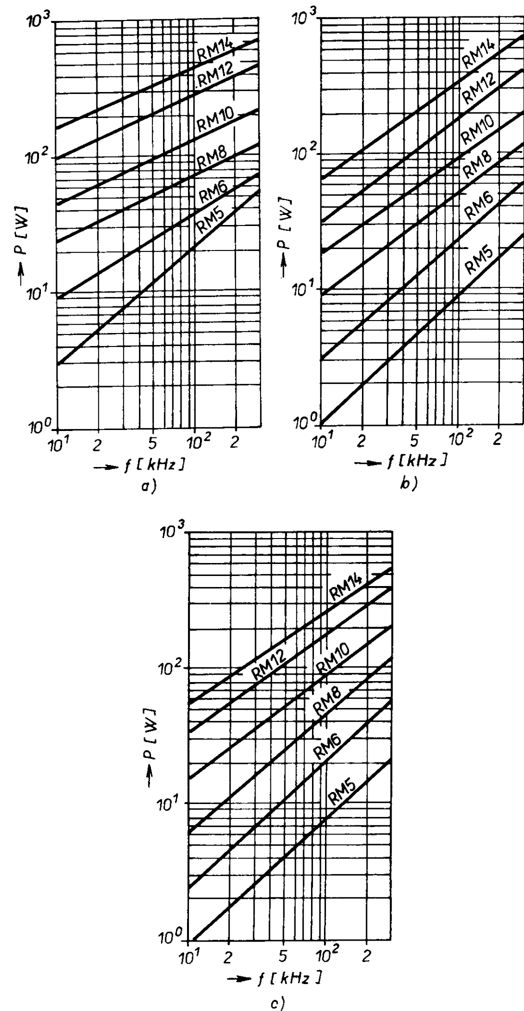


Obr. 29. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů s feritovými jádry U: a) jednočinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, Δδ = 30 K, b) jednočinný propustný měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K, c) jednočinný blokující měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K

Tab. 33. Údaje k určení max. přenášeného výkonu transformátorů s feritovými jádry RM

	Veličina	Typ jádra RM 5	RM 6	RM 8	RM 10	RM 12	RM 14
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	21,2	31,3	63	96,6	146	198
	Min. průřez jádra S_{min} (mm²)	14,8	23,8	55,4	80,9	125	168
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	450	840	2430	4310	8340	13 900
	Průřez vinutí S_N (mm²)	9,5	15	30	41,5	73	107
	Střední délka závitu l_N (mm)	25	30	42	52	61	71,5
	Objem vinutí V_N (mm³)	237	450	1260	2158	4453	7650
	Tepelný odpor součástky R_{th} (KW⁻¹)	100	80	57	40	25	18
	Maxim. zdvih indukce ΔB (mT) pro $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K						
	f = 20 kHz	791	591	476	441	398	367
	f = 50 kHz	471	352	283	263	237	219
	f = 100 kHz	319	238	191	177	160	147
	Max. proud. hustota J (Amm⁻²) pro $\Delta\delta_{Cu}$ = 15 K	8,7	7,05	5,0	4,55	4,0	3,6
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	288	339	343	367	334	340
A	f = 50 kHz	288	339	283	263	237	219
A	f = 100 kHz	288	238	191	177	160	147
A	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	28,5	25,8	22,9	20,2	20	17,4
A	f = 50 kHz	25,2	16,2	15	15	15	15
A	f = 100 kHz	18,1	15	15	15	15	15
A	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	12	9,2	6,2	5,3	4,6	3,9
A	f = 50 kHz	11,3	7,3	5	4,55	4	3,6
A	f = 100 kHz	9,5	7,05	9	4,55	4	3,6
A	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	5,5	14	33	63	131	227
A	f = 50 kHz	13	27	94	97	202	337
A	f = 100 kHz	21,6	37	73	131	273	453
B	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	144	169	172	184	167	170
B	f = 50 kHz	144	169	172	184	167	170
B	f = 100 kHz	144	169	172	177	160	147
B	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,7	29,2	28,6	26,9	28	27,5
B	f = 50 kHz	29	27,2	25,3	23,4	23,3	21,6
B	f = 100 kHz	27,6	23,2	18,2	15	15	15
B	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	12,2	9,8	6,9	6,1	5,5	4,9
B	f = 50 kHz	12,1	9,5	6,5	5,7	5	4,3
B	f = 100 kHz	11,8	8,8	5,5	4,55	4	3,6
B	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	2	5,2	13	26	55	102
B	f = 50 kHz	4,9	12,5	31	60	126	222
B	f = 100 kHz	9,5	23,5	52	93	193	320
C	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	144	169	172	184	167	170
C	f = 50 kHz	144	169	172	184	167	170
C	f = 100 kHz	144	169	172	177	160	147
C	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	29,7	29,2	28,6	26,9	28	27,5
C	f = 50 kHz	29	27,2	25,3	234	23,3	21,6
C	f = 100 kHz	27,6	23,2	18,2	15	15	15
C	Max. proud. hustota J_2 (Amm⁻²), f = 20 kHz	12,2	9,8	6,9	6,1	5,5	4,9
C	f = 50 kHz	12,1	9,5	6,5	5,7	5	4,3
C	f = 100 kHz	11,8	8,8	5,5	4,55	4	3,6
C	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	1,7	4,5	11,2	22,3	47	88
C	f = 50 kHz	4,2	10,8	26,7	52	108	191
C	f = 100 kHz	8,2	20,2	45	80	166	275

A = dvojčinný propustný měnič, ΔB = 400 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, B = jednočinný propustný měnič, ΔB = 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K, C = jednočinný blokující měnič, ΔB = 200 mT, $\Delta\delta$ = 30 K

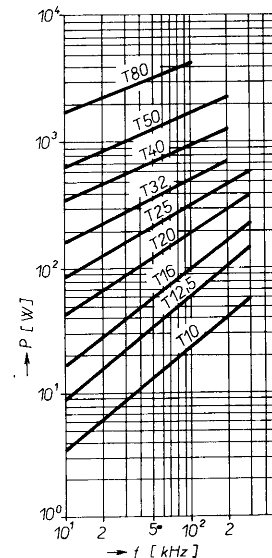


Obr. 30. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů s feritovými jádry RM: a) dvojčinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, Δδ = 30 K, b) jednočinný propustný měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K, c) jednočinný blokující měnič, ΔB < 200 mT, Δδ = 30 K

Tab. 34. K určení max. přenášeného výkonu transformátoru s feritovými toroidními jádry

	Veličina	Typ jádra T 10	T 12,5	T 16	T 20	T 25	T 32	T 40	T 50	T 80
	Efektivní průřez jádra S_e (mm²)	7,8	11,7	18,6	32	49	77	125	196	323
	Efektivní objem jádra V_e (mm³)	188	337	730	1575	2950	6000	12 000	23 600	63 600
	Tloušťka vinutí h_N (mm)	1,5	2	3	3,5	4	5	6	8	10
	Průřez vinutí S_N (mm²)	42	82,6	109	177	237	414	615	1022	2250
	Střední délka závitu l_N (mm)	18	23	34,6	38	46	58	72	92	114
	Objem vinutí V_N (mm³)	762	1900	3770	6720	10 920	23 990	44 300	94 000	256 500
	Tepelný odpor R_{th} (KW⁻¹) souč.	121	67	43	32	24	17	13	9,6	5,3
	Max. zdvih indukce ΔB (mT) při $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K pro f = 20 kHz	1043	1047	907	730	637	468	452	384	323
	f = 50 kHz	622	624	541	440	380	279	269	229	193
	f = 100 kHz	420	422	365	297	257	188	182	155	131
	Max. proudová hustota J (Amm⁻²) při $\Delta\delta_{Cu2}$ = 15 K	4,4	3,75	3,3	2,9	2,6	2,1	1,75	1,4	1,15
A	Max. zdvih indukce ΔB_2 (mT), f = 20 kHz	400	400	400	400	400	400	400	384	323
A	f = 50 kHz	400	400	400	400	380	279	269	229	193
A	f = 100 kHz	400	400	365	297	257	188	182	155	131
A	Max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$ (K), f = 20 kHz	28,3	28,4	27,7	26,3	24,9	19,6	18,7	15	15
A	f = 50 kHz	24,6	24,1	22,5	18	15	15	15	15	15
A	f = 100 kHz	16,6	16,7	15	15	15	15	15	15	15
A	Max. proudová hustota J_2 (Amm⁻¹), f = 20 kHz	6,05	5,15	4,5	3,8	3,4	2,4	2,0	1,4	1,15
A	f = 50 kHz	5,6	4,75	4,1	3,2	2,6	2,1	1,75	1,4	1,15
A	f = 100 kHz	4,6	3,95	3,3	2,9	2,6	2,1	1,75	1,4	1,15
A	Max. přenášený výkon P (W), f = 20 kHz	6,3	16	29	69	126	245	492	862	2160
A	f = 50 kHz	14,7	37	65	150	230	374	724	1284	3226
A	f = 100 kHz	24	61	98	195	310	503	980	1739	4380

A = dvojčinný propustný měnič, $\Delta B \leq$ 400 mT, $\Delta\delta$ = 30 K



Obr. 31. Závislost přenášeného výkonu na kmitočtu u transformátorů s feritovými toroidními jádry - dvojčinný propustný měnič, ΔB < 400 mT, Δδ = 30 K

Příklad výpočtu

Příklad 1.

Navrhněte transformátor pro dvojčinný propustný měnič U_1 = 300 V, U_2 = 10 V s výkonem P = 100 W. Použitý kmitočet f = 50 kHz. Podmínkou je co nejnižší zástavba a jádro s kruhovým průřezem.

Z tab. 32 si zvolíme jádro ETD 29, které při f = 50 kHz přenese max. 139 W.

Jádro bude pracovat za těchto podmínek:
max. zdvih indukce ΔB_2 = 273 mT,
max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu}$ = 15 K,
max. oteplení jádra $\Delta\delta_{Fe}$ = 15 K,
max. proudová hustota J_2 = =3,35 A/mm^2,
průřez vinutí S_N = 97 mm^2,
střední délka závitu l_N = 58,8 mm,
objem vinutí V_N = 5704 mm^3,
střední průřez jádra S_e = 76 mm^2.

Z tab. 35:

Počet závitů a špičkový proud vinutími

$$N_1 = \frac{U_1}{2f.S_e.\Delta B} = \frac{300}{2.50.10^3.76.10^{-6}.273.10^{-3}} = 145$$

$$N_2 = \frac{10}{2.50.10^3.76.10^{-6}.273.10^{-3}} = 5$$

$$I_{\check{s}p1} = \frac{S_N.f_{Cu}.J}{2N} = \frac{97.0,4.3,35}{2.145} = 448\ \text{mA}$$

$$I_{\check{s}p2} = \frac{97.0,4.3,35}{2.5} = 13\ \text{A}$$

Průřez vodičů:

$$S_{Cu1} = \frac{I_{\check{s}p1}}{J_2} = \frac{0,448}{3,35} = 0,135\ \text{mm}^2$$
$$d_1 = 0,4\ \text{mm}$$

$$S_{Cu2} = \frac{I_{\check{s}p2}}{J_2} = \frac{13}{3,35} = 3,9\ \text{mm}^2$$
$$d_2 = 2,2\ \text{mm}$$

Příklad 2.

Navrhněte jádro pro transformátor blokovacího propustného měniče U_1= =300 V, U_2=10 V s výkonem 100 W. Ke stavbě zvolit jádro EC, f =50 kHz. Z tab. 31 zvolíme jádro EC 35 (přenese 98 W).

Jádro bude pracovat za následujících podmínek:
max. zdvih indukce B_2 = 169 mT,
max. oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu}$ = 26,1 K,
max. oteplení jádra $\Delta\delta_{Fe}$ = 3,9 K,
max. proud. hustota J_2 = 5,8 A/mm^2,
průřez vinutí S_N = 97 mm^2,
střední délka závitu l_N = 53 mm,
objem vinutí = 5704 mm^3,
ef. průřez jádra = 84,3 mm^2,
předpokládaný spínací poměr p = 0,5.

Z tab. 35:

$$N_1 = \frac{U_1.p}{f.S_e.\Delta B} = \frac{300.0,5}{50.10^3.97.10^{-6}.169.10^{-3}} = 183$$

$$N_2 = \frac{U_1.(1-p)}{f.S_e.\Delta B} = \frac{10.(1-0,5)}{50.10^3.97.10^{-6}.169.10^{-3}} = 6$$

$$I_{\check{s}p1} = \frac{\sqrt{6}.S_N.f_{Cu}.J_2}{2N_1} = \frac{\sqrt{6}.97.0,4.5,8}{2.183} = 1,5\ \text{A}$$

$$I_{\check{s}p2} = \frac{\sqrt{6}.S_N.f_{Cu}.J_2}{2N_2} = \frac{\sqrt{6}.97.0,4.5,8}{2.6} = 46\ \text{A}$$

$$S_{Cu1} = \frac{I_{\check{s}p1}}{J_2} = \frac{1,5}{5,8} = 0,259\ \text{mm}^2$$
$$d_1 = 0,6\ \text{mm}$$

$$S_{Cu2} = \frac{I_{\check{s}p2}}{J_2} = \frac{46}{5,8} = 7,93\ \text{mm}^2$$
$$d_2 = 3,2\ \text{mm}$$

$$H_{\vartheta} = \frac{\sqrt{6}.I.N}{l_e} = \frac{1,5.183}{77,4.10^{-3}} = 3547\ \text{A/m}$$

$$\mu_e = \frac{169.10^{-3}}{3547.1,257.10^{-6}} = 38$$

Efekt. permeabilita $\mu_e = 38$ odpovídá
$$A_L = \frac{0,4\pi.38}{0,918} = 52\ \text{nH.}$$

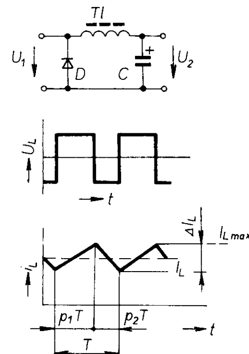
Podle grafu na obr. 11 odpovídá tento údaj vzduchové mezeře 3,3 mm. Max. proud pro tuto mezeru je podle tab. 24 3234 mA, což vyhovuje.

Počet závitů pro indukčnost 1 mH je 133, to odpovídá zhruba uvažovanému součiniteli indukčnosti.

6. Orientační návrh jader filtračních tlumivek

Při napětí u_L pravoúhlého průběhu na tlumivce je průběh proudu i_L pilovitý (obr. 32). Pro maximální proud tlumivky dostáváme zvlnění ΔI_L, které bývá obvykle menší než $0,3I_L$. Platí tedy, že

$$I_{L\,max} = I_L + 0,5\Delta I_L \qquad (6.\ 1).$$



Obr. 32. Schematické znázornění průběhu napětí u_L a proudu i_L na tlumivce (p_1 - poměr doby sepnutí k periodě, p_2 - poměr doby vypnutí k periodě, T - perioda)

Při optimálním návrhu se využívá předmagnetizačního činitele $(I^2L)_{max}$. Indukčnost vinutí tlumivky vypočteme ze vztahu

$$L = (U_1-U_2).U_2/(\Delta I_L.f.U_1) \qquad (6.\ 2),$$

kde U_1 je vstupní napětí,
U_2 výstupní napětí,
f spínací kmitočet.

Velikost předmagnetizačního činitele pak můžeme určit buď z dříve uvedených průběhů nebo nejjednodušeji z přiložených tabulek, v nichž pro dané I najdeme vhodnou vzduchovou mezeru pro zvolené jádro a vypočítáme pak potřebný počet závitů.

Příklad výpočtu filtrační tlumivky

Zadané parametry:
U_1 = 15 V,
U_2 = 10 V,
I = 6 A,
f = 20 kHz.

Hledáme vhodnou indukčnost L tlumivky a vhodnou velikost feritového jádra a vzduchové mezery:

ΔI_L = 0,3I = 0,3 . 6 = 2 A,
L = (15 - 10).10/(2.20.10^3.15) = = 83 µH.

Nejdříve určíme max. I_L:
$I_{L\,max}$ = 6 + 0,5.2 = 7 A.
Pro proud 7 A zvolíme z tab. 21 jádro E55 se vzduchovou mezerou 3,7 mm. Maximální dovolený proud pro oteplení $\Delta\delta$ = 30 K je 7,059 A a počet závitů na 1 mH je 69. Pro indukčnost 83 µH je tedy třeba

$N = \alpha\sqrt{L} = 69.\sqrt{0,083}$ = 20 závitů,
kde α je počet závitů pro indukčnost 1 mH.

Pro maximální oteplení vinutí $\Delta\delta_{Cu2}$= = 15 K je možno použít podle tab. 28 proudovou hustotu 2,3 A/mm^2.
Pak
S_{Cu} = 7/2,3 = 3 mm^2,
d = 2 mm.

Spínané zdroje ve výpočetní technice

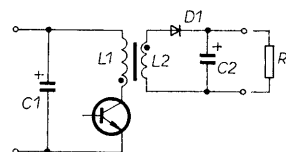
Ing. Jaroslav Belza

Naprostá většina napájecích zdrojů používaných ve výpočetní technice je dnes řešena jako spínané zdroje. Použití spínaných zdrojů umožňuje zlepšit účinnost napájecí části, a ač je to v našich podmínkách zatím těžko představitelné, i snížit výrobní náklady. Další úspory vzniknou zmenšením hmotnosti a rozměrů zařízení. Při konstrukci spínaných zdrojů jsou kladeny mimořádné nároky na feritová jádra transformátorů, na usměrňovací diody i na výkonové tranzistory. Z těchto důvodů se spínané zdroje ve větší míře používají až v posledním desetiletí. Velkou zásluhu na tom také mají nové integrované obvody, jejichž použití umožnilo zjednodušit konstrukci spínaných zdrojů a hlavně zvětšit spolehlivost. Dnešní mohutný nástup počítačů PC byl totiž podmíněn nejen rozvojem mikroelektroniky, ale jistě i pokrokem při konstrukci zdrojů. Těžko si představit PC, jak je „vyplněn" běžným transformátorem o výkonu 200 W, baterií elektrolytických kondenzátorů a chladiči stabilizátorů pro jednotlivá napájecí napětí. Ve spotřební elektronice se spínané zdroje uplatňují hromadně jen v televizních přijímačích, použití pro jiná zařízení není zatím příliš běžné.

V tomto článku bych chtěl popsat několik typických zapojení spínaných zdrojů a jejich vlastností. Popis by měl posloužit především jako inspirace při vlastní tvořivé práci a jako pomůcka pro servisní techniky.

Základní popis činnosti

Všechny zdroje používají pro napájení primární části přímo usměrněné síťové napětí. Pro menší výkony (do 60 až 100 W) bývá zdroj zapojen jako jednočinný blokující měnič, pro výkony větší jako dvojčinný propustný měnič. Pro amatérskou realizaci je zajímavější použití jednočinného měniče, neboť jeho konstrukce je podstatně snažší. Proto mu bude v popisu věnován větší prostor. Než se pustím do podrobného popisu jednotlivých zdrojů, připomeňme si princip jejich činnosti. Podrobný popis principu spínaných zdrojů lze nalézt v AR B4/82.



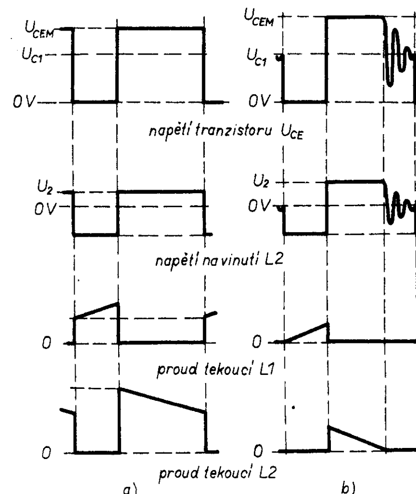
Obr. 1. Základní zapojení jednočinného měniče

Podstatná část zapojení jednočinného měniče je na obr. 1. Kondenzátor C1 je filtrační kondenzátor a je nabíjen usměrněným síťovým napětím. Protože pracovní kmitočet měniče je podstatně vyšší než kmitočet napětí sítě, představuje C1 po většinu času zdroj napětí pro měnič.

Jeden pracovní cyklus měniče lze rozdělit do několika částí. V první části sepne tranzistor T1 a připojí primární vinutí transformátoru L1 ke kondenzátoru C1. Proud vinutím se postupně zvětšuje, zvětšuje se i magnetické pole v jádře transformátoru. Po určité době musí řídicí elektronika zajistit rozepnutí tranzistoru T1. Ve snaze zachovat procházející proud, vybudí magnetické pole jádra ve vinutí L1 a L2 napětí opačné polarity. Protože nyní vinutím L1 proud prakticky neprochází, „přelévá" se energie magnetického pole přes L2 a D1 do zátěže. Výstupní napětí zdroje je dáno poměrem závitů vinutí L1 a L2, velikostí napájecího napětí na primární straně a poměrem časů, po něž je tranzistor otevřen a uzavřen. Průběhy napětí a proudu v některých místech měniče jsou na obr. 2a.

Je-li opakovací kmitočet měniče nízký, popř. je-li zdroj málo zatížen, může v praxi nastat případ, kdy magnetické pole v jádře zanikne dříve, než je tranzistor znovu sepnut. Na nyní nezatíženém vinutí transformátoru vzniknou tlumené kmity.

Průběhy napětí v měniči jsou na obr. 2b. Tento stav není příliš nebezpečný,



Obr. 2. Průběhy napětí v některých místech jednočinného měniče

Tab. 35. Parametry výkonových transformátorů (napětí pravoúhlého průběhu)

Druh provozu	U_1/N_1	U_2/N_2	$I_e=(S_N.f_{Cu}.J)/2N$ [1]		
			$I_š$	$H_š$	μ_e
Dvojčinný měnič	$2f.S_e.\Delta B$		I_e		
Jednočinný měnič	$f.S_e.\Delta B$		$I_e/p^{1/2}$		
Blokující měnič	$f.S_e.\Delta B/p$	$f.S_e.\Delta B/(1-p)$	$6^{1/2}.I_e$	$6^{1/2}I_e.N/l_e$ [2]	$\Delta B/\mu_0.H_š$

U/N - napětí na závit,
I_e - efektivní velikost proudu,
$I_š$ - špičkový proud,
$H_š$ - špičková intenzita magnetického pole,
p - spínací poměr = $T_1.f$;
[1] předpokládá se, že průřez primárním i sekundárním vinutím je $S_N/2$,
[2] pod $I_e.N$ se rozumí celkový počet primárních nebo sekundárních závitů

Všechna uvedená jádra a další informace můžete získat na adrese

PRAMET a. s., Uničovská 2, 787 53 Šumperk, tel. 42 21-9, 25 41-6, fax (0649) 4968,

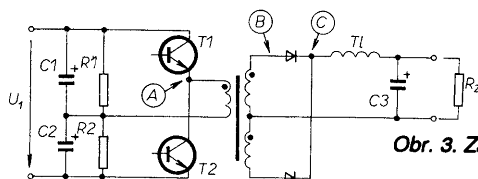
kostřičky k jádrům lze získat na adrese

TESLA Lanškroun a. s., divize 11, Dvořákova 328, 503 24 Lanškroun,

nebo

Neuroth Elektronik o. s., s. r. o., Šumavská 31, 612 54 Brno

(zastupuje firmu NORWE ze SRN - ucelený sortiment koster a příslušenství pro feritová jádra)



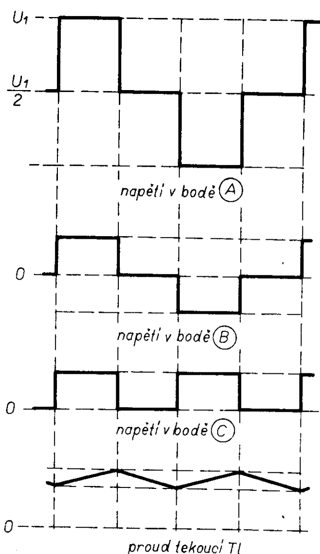
Obr. 3. Zapojení dvojčinného propustného měniče

neboť amplituda kmitů je menší než pracovní rozkmit napětí. Zmenšuje se však účinnost měniče a proto tento způsob činnosti nelze v rozsahu pracovní zátěže tolerovat.

Při práci měniče mohou nastat dva nebezpečné stavy: pracuje-li do zkratu či bez zátěže. V prvním případě se může nadměrně zvětšit proud procházející spínacím tranzistorem, v druhém napětí na vinutí transformátoru. Tyto stavy jsou řešeny vhodným zapojením řídicí elektroniky a často i použitím rezistorů, realizujících jistou minimální zátěž pro měnič.

Poněkud složitější je zapojení dvojčinného propustného měniče. Při popisu jeho funkce můžeme vycházet ze zapojení na obr. 3. Kondenzátory C1 a C2 slouží jako zásobník energie (stejně jako v případě jednočinného měniče kondenzátor C1). Rezistory R1 a R2 udržují ve středu děliče přibližně polovinu napájecího napětí: Do tohoto středu je připojen jeden konec primárního vinutí L1, druhý může být přes tranzistory T1 a T2 připojen na kladné nebo záporné napájecí napětí. Na sekundární straně je dvojčinný usměrňovač a pro funkci měniče důležitá tlumivka Tl.

Při popisu činnosti se podíváme na průběhy napětí v některých místech měniče - viz obr. 4. Tranzistory T1



Obr. 4. Průběhy napětí v některých místech dvojčinného měniče

a T2 střídavě připojují primární vinutí na kladné nebo záporné napájecí napětí. Tato napětí se přímo transformuje na sekundární vinutí. Protože se v transformátoru nehromadí tolik energie ve formě magnetického pole jako u blokujícího měniče, může být transformátor podstatně menší. Tranzistory jsou vždy otevřeny po dobu kratší než je polovina periody a proto na katodách diod D1 a D2 dostaneme pulsující stejnoměrné napětí, přičemž šířka impulsů odpovídá délce sepnutí T1 nebo T2.

Výstupní napětí je úměrné velikosti napětí a šířce impulsů na katodách D1 a D2. Výstupní napětí se vlastně reguluje na tlumivce řízením doby sepnutí T1 a T2. Má-li zdroj několik výstupních napětí, jsou všechny tlumivky navinuty na společném jádře. To zajistí přibližně stejný poměr výstupních napětí i při rozdílné zátěži v jednotlivých větvích. Počet závitů a polarita vinutí musí být úměrná výstupním napětím.

Rovněž tento typ měniče vyžaduje pro správnou činnost jistou minimální zátěž. Někteří výrobci doporučují 10%, což je někdy obtížné splnitelné. Napájí-li zdroj o výkonu 200 W bezdiskovou síťovou stanici, může být příkon komponent počítače i menší. Zpravidla však již zátěž několika procent zcela dostačuje.

Tento typ měniče je mnohem méně odolný proti zkratu. Podaří-li se nám zkratovat výstup, zdroj zpravidla zničíme.

Protože na některé součásti zdrojů bývají kladeny zvýšené nároky, nebude na škodu se zde o nich zmínit. Spínací tranzistor jednočinného měniče musí s rezervou vydržet napětí U1+U3 (viz obr. 2a), přičemž proud tekoucí sepnutým tranzistorem může dosáhnout i 2 A. U dvojčinného měniče musí spínací tranzistory vydržet napětí U1 (viz obr. 4) a proud asi 5 A. Dnes již není problém sehnat vhodné tranzistory. Ze známějších typů lze použít bipolární BUT11A nebo BU508A, či unipolární IRF830 nebo BUZ90A.

Mnohem větší problém je sehnat vhodné feritové jádro pro transformátor. Z tuzemských materiálů lze použít jádra z hmoty H21. S jádrem EE32 se mi podařilo postavit blokující měnič, který dodal výkon 100 W. Měnič pracoval na kmitočtu 50 kHz. Pro amatérskou stavbu zdrojů můžeme také použít feritová jádra z vysokonapěťových transformátorů černobílých TV přijímačů.

U blokujících měničů je kritická parazitní kapacita vinutí. Z těchto důvodů bývá primární vinutí rozděleno na dvě části, které jsou zapojeny do série. První část vinutí je zcela vespod, druhá jako poslední vinutí navrchu. Pro zmenšení ztrát je pro každé vinutí (zvláště sekundární) použito několik tenčích vodičů paralelně. Při stejném průřezu se tak zvětší povrch a omezí povrchový jev.

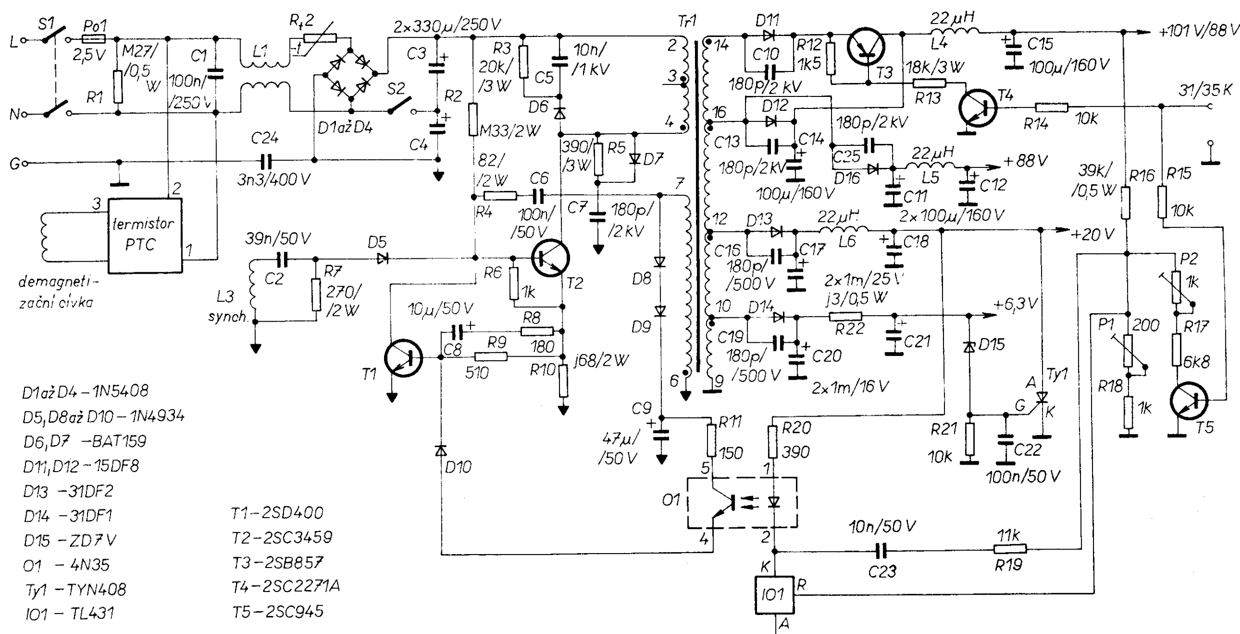
Kritickou součástí měniče jsou usměrňovací diody na sekundární straně. Diody musí být dostatečně rychlé a nesmí mít velký úbytek napětí v propustném směru. Pro větší výstupní napětí a proudy do 1 A lze použít např. BY339, pro menší napětí a proud do 3 A např. BYW29-150. Pro malá výstupní napětí (5 V) je vhodné použít Schottkyho diody. I když použijeme kvalitní diody, je to právě usměrňovač, na němž vznikají největší ztráty a diody je nutno většinou chladit.

Praktická zapojení

Jako první si popíšeme zdroj z barevného monitoru VGA. Jeho úplné zapojení je na obr. 5. Zdroj dodává napětí 6,3 V pro žhavení obrazovky, napětí 20 V pro zapojení většiny obvodů, napětí 88 V pro koncový stupeň videozesilovače a přepínané napětí 88/101 V pro koncový stupeň řádkového rozkladu.

Jedná se o jednočinný blokující měnič, který je zapojen jako (kmitající) oscilátor. Kladná zpětná vazba, nutná pro nasazení a udržení oscilací, je zavedena z pomocného vinutí na primární straně (vývod č.7 Tr1) přes kondenzátor C6 a rezistor R4 do báze T2. V běžných oscilátorech tohoto typu je tranzistor otevřen tak dlouho, dokud se jádro transformátoru magneticky nenasytí. Pak zanikne napětí na pomocném vinutí, tranzistor přestane být buzen a zavře se. Energie magnetického pole se dovede do zátěže, tranzistor se otevře a celý cyklus začíná znovu. Pro činnost měniče je nevýhodné, je-li jádro transformátoru zmagnetizováno až do nasycení. Proto je v emitoru T2 rezistor s malým odporem (R10), na kterém je napětí úměrné proudu procházejícímu T2 a primárním vinutím. Dosáhne-li toto napětí jisté meze, otevírá se tranzistor T1 a působí proti dalšímu zvětšení proudu tekoucímu tranzistorem T2. Napětí na pomocném vinutí zanikne a T2 se zavře – jev je podobný jako při nasycení jádra. Indukčnost primárního vinutí transformátoru je asi 5 mH.

Požadovaná napětí jsou získána usměrněním z odboček na sekundárním vinutí transformátoru a stabilizována pomocí zpětné vazby přes optron na primární stranu. Zvětší-li se výstupní napětí, zvětší se proud tekoucí LED optronu. Popis obvodu TL431C, který je použit v obvodu stabilizace napětí, naleznete v AR A5/93 na str. 15. Výstupní tranzistor optronu zavede do báze T1 přídavný proud a tím způsobí, že T2 se zavře dříve. Celková energie dodaná do jádra (a tím i do zátěže) se



Obr. 5. Zapojení zdroje pro barevný monitor VGA

zmenší a zmenší se i výstupní napětí. Kondenzátor C9 se dobíjí, když je T2 otevřen, a proto napětí na něm je úměrné napájecímu a nikoliv výstupnímu napětí.

Rezistorem R2 prochází malý proud, který je nutný pro nasazení a udržení oscilací. Člen R3, C5 a D6 omezuje překmity na primárním vinutí, které ohrožují T2. Překmity jsou způsobeny nedokonalostí vazby mezi primárním a sekundárním vinutím a mohou být i několik set voltů. Tento člen najdeme u všech blokujících měničů. Podobný význam má i člen R5, C7 a D7 a kondenzátory připojené paralelně k usměrňovacím diodám.

Povšimněme si ještě dalších částí zdroje. Dioda D15 a tyristor Ty1 jsou zapojeny jako přepěťová pojistka. Vznikne-li z nějakého důvodu (např. porucha optronu) závada na stabilizaci a napětí se zvětší nad přípustnou mez, sepne tyristor a zkratuje výstup. I když dlouhotrvající zkrat může způsobit další poškození zdroje, jsou následky vždy snáze opravitelné, než při zničení části elektroniky monitoru napětím dva až čtyřikrát větším.

Měniče tohoto typu mají sklon k nepravidelnostem při své činnosti. Projevuje se to syčením nebo šumem ozývajícím se z jádra transformátoru. Proto je jeho práce synchronizována s kmitočtem řádkového rozkladu. Cívka L3 jsou dva nebo jeden závit vodiče na vysokonapěťovém transformátoru monitoru. Kladné impulsy z L3 procházející C2 a D5 synchronizují otvírání T2. Pro správnou funkci musí být pracovní kmitočet nezasynchronizovaného zdroje nižší. Synchronizace má ještě jeden příznivý vliv - omezuje zkreslení obrazu monitoru. Rozptylové pole transformátoru a nedostatečně vyfiltrované napájecí napětí mohou také způsobovat zdvojení řádek nebo roztřepení svislých čar. Synchronizací tento jev zcela vyloučíme.

Řádkový kmitočet monitoru super VGA může být buď 31,5 kHz nebo 35,5 kHz. Pro zachování rozměru obrazu a velikosti anodového napětí obrazovky je třeba pro vyšší kmitočet také větší napájecí napětí pro koncový stupeň řádkového rozkladu. K přepínání slouží tranzistory T3, T4 a T5. Na vstup označený 31/35k je přiváděn signál v úrovni TTL, generovaný elektronikou monitoru. Trimry P1 a P2 je nastavováno výstupní napětí zdroje pro jednotlivé případy.

Při zapnutí zdroje se nejdříve nabíjejí kondenzátory C3 a C4. Dojde k proudovému nárazu, který značně ohrožuje diody D1 až D4, protože vybité kondenzátory představují v podstatě zkrat. Aby se omezil nabíjecí proud, je do přívodu zařazen termistor Rt2. Odpor termistoru je 10 až 20 Ω a po zahřátí procházejícím proudem se zmenší na zlomek této velikosti.

Zajímavým způsobem je vyřešeno přepínání na 120 V. Po sepnutí spínače S2 se změní funkce usměrňovače na zdvojovač napětí. Diody připojené ke spínači jsou pak vyřazeny z funkce. Spínač S2 bývá často vyřešen jen jako propojka, přístupná až po sejmutí krytu přístroje.

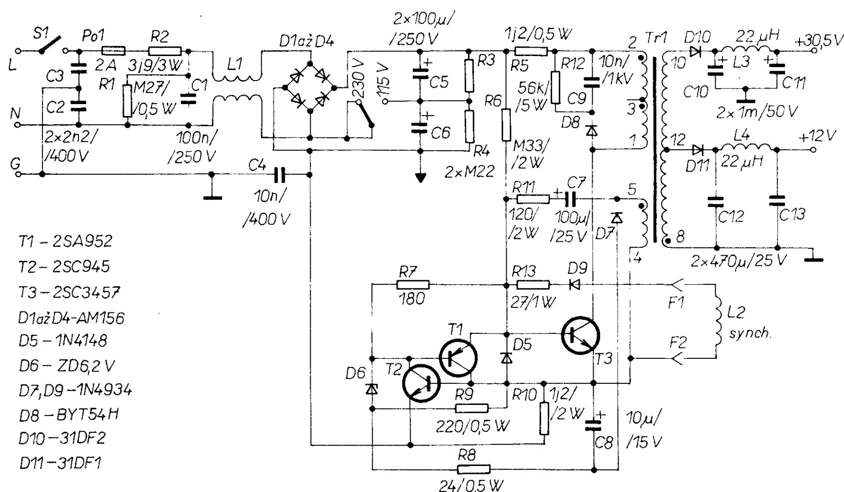
Nepříjemnou vlastností spínaných zdrojů je možnost vzniku rušení. Aby se omezilo rušení pronikající do síťového rozvodu, je téměř vždy použit filtr. U tohoto zdroje je realizován kondenzátorem C1 a filtrační tlumivkou L1.

Na závěr tohoto popisu zdroje bych trochu odbočil a popsal obvod, který s funkcí zdroje nijak nesouvisí. Pro zachování čistoty barev je u barevných televizorů a počítačových monitorů při zapnutí demagnetizována obrazovka. K tomu slouží cívka, která je navinuta po obvodu čelní plochy obrazovky. Cívka vytváří střídavé magnetické pole, které se po zapnutí rychle zmenšuje a za několik sekund zcela zanikne. K řízení tohoto procesu se používá blok termistorů PTC. Termistor PTC je součástka, jejíž odpor se při určité teplotě prudce zvětší až o několik řádů. V bloku, nakresleném na obr. 5, jsou vlastně termistory dva - jeden je zapojen v sérii s demagnetizační cívkou a druhý přímo na síťové napětí. Mezi oběma termistory je těsná tepelná vazba. Po zapnutí prochází demagnetizační cívkou značný proud. Termistor se zahřívá a proud se postupně zmenšuje. Druhý termistor (připojený přímo k síti) je vyroben tak, že teplota, při které obvod přechází do nevodivého stavu, je vyšší. Malý procházející proud pak udržuje právě tuto teplotu, při které je první termistor již zcela nevodivý a proud demagnetizační cívkou neprochází.

* * *

Další ukázkou spínaného zdroje je zdroj z černobílého monitoru. Jeho zapojení je na obr. 6. Opět se jedná o jednočinný blokující kmitající měnič a jeho zapojení je velmi podobné zdroji z obr. 5. Odlišně je zapojena stabilizace výstupního napětí a proto si ji popíšeme.

Z pomocného vinutí na primární straně je přes diodu D7 nabíjen kondenzátor C8. Protože se kondenzátor nabíjí v době, kdy je T3 zavřen, odpo-



Obr. 6. Zapojení zdroje černobílého monitoru

vídá napětí na C8 přibližně výstupnímu napětí, samozřejmě v poměru k počtu závitů sekundárního a pomocného vinutí. Velikost napětí je upravena děličem R8 a R9. Zvětší-li se toto napětí tak, že dosáhne Zenerova napětí diody D6, otevírá se T1. Tranzistor T3 je pak otevřen kratší dobu a celková energie dodaná do jádra se zmenší. Princip řízení výkonového tranzistoru je shodný s řízením u zdroje na obr. 5. Činitel stabilizace je horší, a to zvláště při změně zátěže, protože vazba mezi vinutími není úplně těsná. Tento zdroj je výhodný do zařízení, jejichž odběr se příliš nemění.

Rovněž tento zdroj je synchronizován kmitočtem řádkového rozkladu. Signál ze smyčky vodiče, provléknutého jádrem vn transformátoru, je přiveden přes D9 a R13 do báze T3.

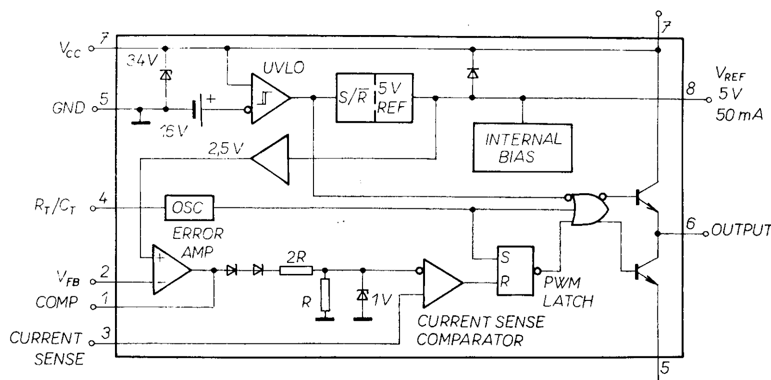
Pro omezení proudového rázu při zapnutí je v tomto zdroji místo termistoru použit rezistor s odporem 3,9 Ω. Všechny ostatní obvody byly již popsány u předešlého zdroje a není proto potřeba se o nich znovu zmiňovat.

* * *

Speciální integrované obvody umožňují konstruovat zdroje s větší účinností a spolehlivostí. Jedním z často používaných typů je UC2842N. Obvod je určen pro řízení jednočinných měničů. Měnič je řízen šířkou impulsů, které jsou přiváděny na bázi (gate) výkonového tranzistoru. Zvláštností obvodu je, že šířka budicích impulsů je odvozena z emitorového proudu spínacího tranzistoru. Blokové zapojení obvodu je na obr. 7, obsahuje startovací klopný obvod, zdroj referenčního napětí, oscilátor, zesilovač regulační odchylky, budič spínacího tranzistoru a komparátor pro hlídání proudu tekoucího tranzistorem. Zdroj řízený tímto obvodem, je-li vhodně navrhnut, může bez problémů pracovat s napětím sítě 90 až 240 V, aniž by bylo třeba cokoli přepínat. Díky účinnému řízení šířky budicího impulsu může také pracovat s větším rozsahem pracovní zátěže.

* * *

Na obr. 8 je zapojení zdroje z barevného monitoru SVGA, používajícího obvod UC3842N. Pro přehlednost byl ze zapojení vypuštěn síťový usměrňovač a vstupní filtr. Rovněž sekundární strana je pouze naznačena, v originálním zdroji je velmi podobná zapojení z obr. 5. I v tomto případě se jedná o jednočinný blokující měnič, avšak kmitočet je určen řídicím obvodem.

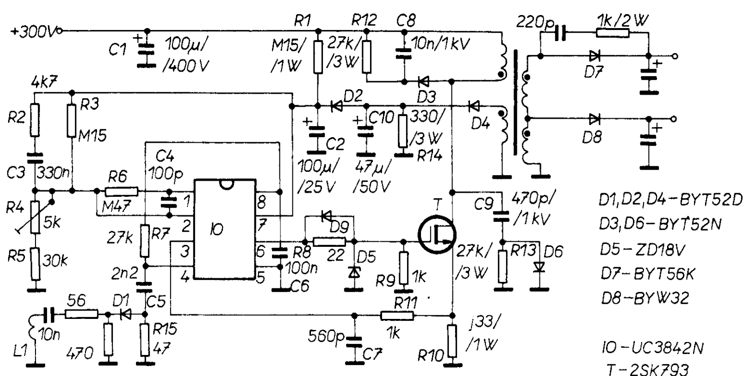


Obr. 7. Blokové zařízení obvodu UC3842N

Po zapnutí se objeví napájecí napětí na C1. Přes rezistor R1 se pomalu nabíjí C2. Řídicí IO není zatím aktivní, a odebírá proud menší než 1 mA. Když napětí na C2 dosáhne asi 16 V, změní se stav klopného obvodu uvnitř IO a aktivují se jeho další části. Na vývodu *8* se objeví referenční napětí +5 V a rozkmitá se vnitřní oscilátor. Na vývodu *6* se objeví impulsy pro řízení výkonového tranzistoru.

Pokud se zdroj zdárně rozběhne, je řídicí obvod napájen z pomocného vinutí na primární straně (po usměrnění diodami D4 a D2). Napětí na kondenzátoru C2 je také použito jako srovnávací napětí pro stabilizaci. Přes dělič R3, R4 a R5 je přivedeno na vývod *2* IO. Toto napětí se porovnává s vnitřním referenčním napětím 2,5 V a vzniká odchylka mění šířku budicích impulsů pro výkonový tranzistor. Rezistor R2 a kondenzátor C3 urychlují reakci stabilizátoru, R6 a C4 představují zpětnou vazbu zesilovače odchylky.

Na rezistoru R10 se snímá proud, procházející tranzistorem a primárním vinutím transformátoru; proud má pilovitý průběh, viz obr. 2a. Dosáhne-li úbytek na tomto rezistoru a tím i na vývodu *3* IO velikosti napětí na výstupu zesilovače odchylky, překlopí se vnitřní klopný obvod R-S a ukončí se budicí impuls pro výkonový tranzistor. Jak je patrné z blokového zapojení na obr. 7, může se toto napětí pohybovat od 0 do 1 V v závislosti na výstupním



Obr. 8. Zapojení zdroje pro monitor s obvodem UC3842N

napětí zesilovače odchylky. R11 a C7 odstraňují překmit, který vznikne v důsledku nabíjení parazitních kapacit ve vinutí transformátoru při sepnutí tranzistoru. Snímání proudu není důležité jen pro řízení šířky impulsu, ale také jako ochrana spínacího tranzistoru proti nadměrnému proudu. Tato ochrana je velmi kvalitní a spolehlivě ochrání tranzistor nejen při zkratu na výstupu zdroje, ale i při mezizávitovém zkratu na primárním vinutí, což jsem si sám omylem vyzkoušel.

Primární vinutí transformátoru je opět dělené a jeho indukčnost je asi 0,5 mH.

Kmitočet měniče je řízen vnitřním oscilátorem. Nastavení je zajištěno rezistorem R7 a kondenzátorem C5. Pro zlepšení kvality obrazu je i v tomto zdroji kmitočet měniče synchronizován kmitočtem řádkového rozkladu. Za tímto účelem je v sérii s C5 rezistor R15, na který jsou přivedeny synchronizační impulsy. L1 je opět jen smyčka vodiče provlečená jádrem vn transformátoru.

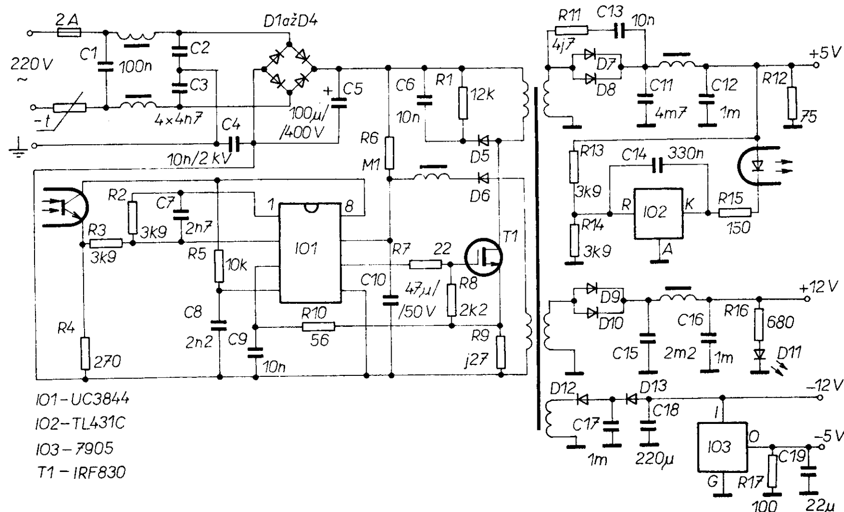
Obvod UC3842N je podle katalogu určen pro buzení bipolárních a polem řízených tranzistorů. Ve všech zapojeních, se kterými jsem měl možnost se seznámit, byl použit tranzistor řízený polem (MOSFET). Dioda D5 zabraňuje, aby napětí na řídicí elektrodě přesáhlo 18 V. Pro většinu polem řízených tranzistorů je totiž maximální napětí G proti S jen 20 V. Dioda zároveň chrání řídicí IO při průrazu tranzistoru.
— Pro potlačení zákmitů je i zde použit člen R12, C8, D3 a dále pak R13, C9 a D6.

* * *

Další zapojení (obr. 9) je zdroj 60 W pro počítače PC. Zapojení je úplné, až na obvod generují signál Power Good. Tento signál má po zapnutí úroveň log. 0 a teprve po ustálení všech napětí přejde do log. 1. Při vypnutí zdroje by tento signál měl přejít do log. 0 dříve než „spadne“ napájecí napětí. Signál Power Good je na desce počítače logicky svázán se signálem Reset. V popsaném zdroji byl signál Power Good generován speciálním obvodem, od kterého se mi nepodařilo sehnat žádné údaje.

Zdroj je opět zapojen jako jednočinný blokující měnič. Pro řízení je použit obvod UC3844, který se velmi podobá UC3842N. Tento obvod obsahuje navíc děličku dvěma a hradlo, které odstraní každý druhý výstupní impuls. Navenek tedy obvod budí spínací tranzistor impulsy s polovičním kmitočtem a šířka impulsů může být maximálně jen 50 procent. Ostatní funkce jsou zcela shodné s UC3942N.

Na rozdíl od zdroje pro monitor používá tento zdroj jiný způsob stabilizace napětí. Pro regulaci se snímá napětí na sekundární straně výstupu napětí +5 V a řídicí obvod je ovládán přes optron. Stabilita a přesnost zdroje referenčního napětí v řídicím obvodu zde není důležitá, protože napětí je porovnáváno na IO2, nám již známém obvodu TL4331C. Snímání napětí až na sekundární straně umožňuje dosáhnout výborné stability napětí +5 V při změně zátěže. Pro zdroj, který musí pracovat v širokém rozmezí různých zátěží, je to vlastně jediné východisko.



Obr. 9. Zapojení zdroje 60 W pro počítače PC

Napájecí napětí +12 V a -12 V jsou odvozena jen poměrem závitů na příslušných vinutích a také stabilita výstupního napětí při změně zátěže je menší. Odchylka do 0,5 V však není na závadu. Napětí -5 V, ze kterého se předpokládá jen nepatrný odběr, je odvozeno z -12 V stabilizátorem 7905.

Pro usměrnění napětí +5 V je použit blok Schottkyho diod, které mají v propustném směru asi poloviční úbytek napětí proti běžným diodám. Pro napětí 12 V již nelze Schottkyho diody použít, protože nemají dostatečně velké závěrné napětí. Na vstupu i výstupu zdroje jsou filtry, potlačující vyzařování zdroje. Přepínání 110/220 V chybí, protože zdroj je schopen pracovat se síťovým napětím od 90 do 240 V. Proudový náraz při zapnutí zdroje je omezen termistorem.

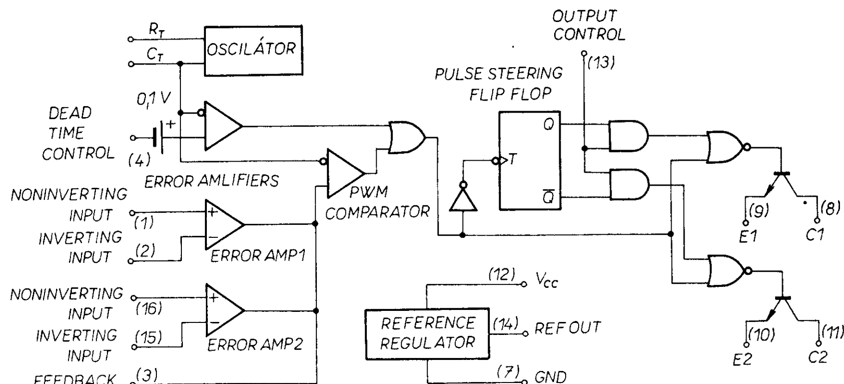
I když je tento zdroj určen především pro bezdiskové stanice počítačové sítě, spolehlivě „utáhne“ i běžné PC, vybavené pevným diskem, dvěma mechanikami pružných disků a několika rozšiřujícími kartami.

* * *

Další obvod, který se často používá ve spínaných zdrojích, je TL494. Podle výrobce může být označen také K7500 nebo IR3M02. I když je navržen pro řízení dvojčinných měničů, znám zapojení, v němž byl použit i pro buzení jednočinného měniče.

Jeho blokové schéma je na obr. 10. Obvod obsahuje zdroj referenčního napětí +5 V, nastavitelný oscilátor, obvod pro hlídání šířky impulsu (Dead time control), dva zesilovače regulační odchylky (Error amp.) a budič výstupních tranzistorů. V logice budiče je dělička dvěma a hradla, která podle napětí na vývodu *13* (Output control) spínají výstupní tranzistory buď současně (0 V) nebo střídavě (+5 V).

Povšimněte si způsobu, jakým je řízena šířka výstupního impulsu. Zatímco u obvodu UC3842 je napětí zesilovače odchylky porovnáváno s napětím snímaným na emitorovém rezistoru výkonového tranzistoru (má přibližně pilovitý průběh), je u obvodu



Obr. 10. Blokové zapojení obvodu TL494

TL494 napětí zesilovače odchylky porovnáváno s napětím na kondenzátoru (má rovněž pilovitý průběh). Proud tekoucí výkonovými tranzistory je možno hlídat jinými způsoby, o jednom z nich se zmíním při popisu konkrétního zdroje.

Pomocí napětí na vývodu *4* (Dead time control) je možno řídit maximální šířku výstupního impulsu. Na tento vývod bývá zpravidla připojen obvod zajišťující měkký start zdroje a obvod pro hlídání mezí výstupních napětí.

Obvod má dva zesilovače odchylky, jejichž výstupy jsou spojeny paralelně. Pro regulaci výstupního napětí se používá zpravidla jen jeden. Druhý bývá zapojen paralelně k prvnímu, případně vyřazen z funkce přivedením vhodných napětí na jeho vstupy. Další možnost je použít jej pro hlídání funkce zdroje.

* * *

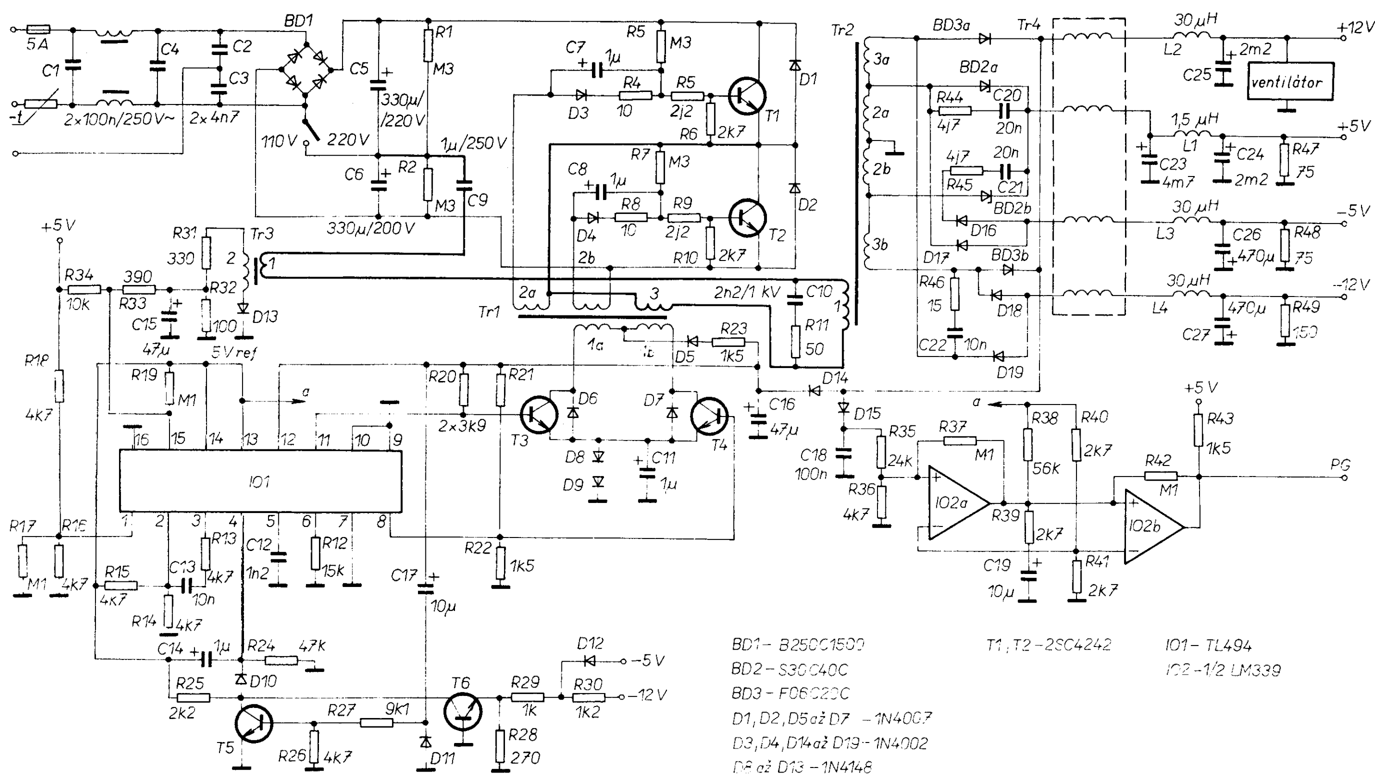
Na obr. 11 je zapojení zdroje 200 W, který je řízen obvodem TL494. Jen s malými obměnami je takto zapojena většina zdrojů s výkonem 180 až 250 W, určených pro napájení počítačů. Zdroj je zapojen jako dvojčinný propustný měnič s regulací výstupního napětí.

Při popisu funkce si povšimneme nejdřív primární strany zdroje. Síťové napětí je přes filtr přivedeno na usměrňovač, který může být při napětí 110 V změněn ve zvojovač. Kondenzátory C5, C6 a rezistory R1, R2 vytvářejí umělý střed na usměrněném napětí. Tranzistory T1 a T2 jsou výkonové spínací tranzistory měniče, které střídavě připojují jeden konec primárního vinutí na kladné nebo záporné napájecí napětí (proti středu). Výkonová větev začíná u spínacích tranzistorů (emitor T1, kolektor T2) a prochází nejprve pomocným vinutím budicího transformátoru Tr1 (vinutí *3*), primárním vinutím hlavního transformátoru Tr2 (vinutí *1*), primárním vinutím pomocného transformátoru Tr3 a kondenzátorem C9 na umělý střed napájecího napětí. Pro větší názornost je celá cesta ve schématu vyznačena tučně.

Po připojení napájecího napětí je celá sekundární strana zdroje bez napětí. Protože řídicí obvod je napájen ze sekundární strany a je bez napájení, nemůže pochopitelně nic řídit. Budicí tranzistory T3 a T4 jsou zavřeny, naopak výkonové tranzistory jsou pootevřeny proudem protékajícím rezistory R5 a R7. Pomocí vinutí *3* transformátoru Tr1 je zavedena kladná zpětná vazba na vinutí *2a* a *2b*, která způsobí, že se výkonový stupeň měniče samovolně rozkmitá. Kmity mají relaxační charakter, po úzkém impulsu následuje relativně dlouhá mezera. Na výstupu zdroje se objeví napětí, které je vzhledem k povaze kmitů velmi malé. Pro napájení řídicího obvodu je napětí odebíráno ještě před výstupní tlumivkou (Tr4) a usměrněno diodou D14. Na kondenzátoru C16 je napětí odpovídající amplitudě kmitů a to je zpravidla již dostatečné pro práci řídicího obvodu. Jak se zvětšuje napětí na C16, otevírají se tranzistory T3 a T4 přes rezistory R20 a R21 a zkratovávají primární vinutí (*1a*, *1b*) budicího transformátoru. To má za následek zmenšení kladné zpětné vazby a tím i utlumení kmitů. Je tak zabráněno nekontrolovatelným kmitům, pokud řídicí obvod z nějakého důvodu „nenaskočí". Rezistor R22 zajišťuje, že vinutí je zkratováno až po dosažení napětí dostatečného pro práci řídicího IO.

V běžném provozu je zdroj řízen pomocí IO1. Pokud jsou T1 i T2 zavřeny (viz obr. 3, 4), jsou T3 a T4 otevřeny. Zabrání se tím „divokým" oscilacím. Pokud se má otevřít jeden z výkonových tranzistorů, zavře se příslušný budicí tranzistor. Proud procházející přes R23 a D5 nyní jen jedním primárním vinutím Tr1 vybudí napětí na bázi výkonového tranzistoru a pomocí kladné zpětné vazby (nyní je odblokována) jej uvede rychle do saturace. Pokud impuls skončí, otevřou se opět oba budicí tranzistory, kladná zpětná vazba zanikne a překmitem na budicím transformátoru se výkonový tranzistor rychle uzavře. Protože délka impulsu vnucená řídicím IO je kratší než délka impulsu při samovolné oscilaci, udrží se kladná zpětná vazba po celou dobu impulsu.

Stabilizace napětí na výstupech zdroje je odvozena z výstupního napětí +5 V. Velikost ostatních napětí je zajištěna poměrem závitů na sekundární straně Tr2 a polaritou usměrňovacích diod. Pro správnou funkci zdroje je nutná výstupní tlumivka. Teprve na výstupu zdroje (za tlumiv-



Obr. 11. Zapojení zdroje 200 W pro počítače PC

kou) je vyhlazené výstupní napětí. Toto napětí je úměrné velikosti napětí impulsu před tlumivkou a poměru šířky impulsu k délce periody. Zde je také další zvláštnost popisovaného zdroje - tlumivka pro jednotlivá výstupní napětí je na společném jádře. Jedná se tak o další transformátor. Dodržíme-li počet závitů a směr vinutí úměrný výstupním napětím, dostaneme další vazbu mezi jednotlivými napětími. V praxi jsou na výstupu zdroje odchylky do 10 % od jmenovitého napětí i při velmi odlišném zatížení jednotlivých větví.

Z vnitřního zdroje referenčního napětí (vývod *14* IO) je přes dělič R15/R14 přivedeno napětí na invertující vstup (vývod *2*) zesilovače odchylky. Na neinvertující vstup (vývod *1*) je přes dělič R18/R16 přivedeno napětí z výstupu zdroje. Zpětná vazba R13, C13 zajišťuje stabilitu regulátoru. Napětí na výstupu zesilovače odchylky je porovnáno s napětím pilovitého průběhu, snímaným z kondenzátoru oscilátoru C12. Zmenší-li se např. výstupní napětí, zmenší se také napětí na výstupu zesilovače odchylky. Prodlouží se budicí impuls. Budicí tranzistory jsou déle otevřené. Šířka impulsu před tlumivkou se zvětší a napětí se „dorovná“.

Druhý zesilovač odchylky je za normálních okolností zablokován předpětím přivedeným na invertující vstup (vývod *15*). Zvětší-li se z nějakého důvodu proud tekoucí výkonovou větví zdroje na primární straně, nakmitá se na vinutí *2* transformátoru Tr3 napětí, které se po usměrnění diodou D13 odečítá od předpětí na vývodu *15* IO. Zmenší-li se napětí na tomto vývodu pod 0 V, začne druhý zesilovač odchylky pracovat, převezme řízení délky impulsu a zkracuje impuls tak dlouho, dokud se proud nezmenší na přípustnou velikost. Tato ochrana působí velmi dobře při pozvolném zvětšování proudu, při zkratu na výstupu reaguje však zpravidla pozdě. Proto náhodný zkrat skončí obvykle destrukcí výkonových tranzistorů. Transformátor Tr3 je často ralizován na toroidním jádru o průměru asi 1 cm. Sekundární vinutí tvoří 20 až 30 závitů, jako primární vinutí slouží vodič prostrčený středem transformátoru.

Povšimněme si obvodu připojeného k vývodu *4* řídicího IO. Napětím na tomto vývodu (v originále označeném Dead time control) můžeme ovlivnit maximální šířku impulsu na výstupu IO, tj. maximální čas, po který je zavřen T3 či T4, případně otevřen T1 či T2. Největší šířky je dosaženo při nulovém napětí. Při zvětšování napětí se impuls zkracuje, až zcela zanikne.

Při startu zdroje je kondenzátor C14 vybit a na vývodu *4* se krátce objeví napětí +5 V referenčního zdroje. Řídicí obvod je zablokován, napětí na vývodu *4* se však rychle zmenšuje (jak se nabíjí C14). Na výstupu IO se objeví impulsy, které jsou stále delší. Kombinace C14 a R24 tak zajišťuje měkký start zdroje. Naopak krátce po startu je otevřen tranzistor T5 proudem protékající kondenzátorem C17 a rezistorem R27. Protože časová konstanta C17*R27 je delší než časová konstanta C14*R24, trvá tato fáze déle než úvodní měkký start. Než se nabije C17 a následně uzavře T5, musí se na výstupu zdroje ustálit napětí. Pak se otevře tranzistor T6 a udržuje nadále na vývodu *4* nulové napětí. Není-li z nějakého důvodu dosaženo výstupních napětí v požadovaném čase, uzavře se tranzistor T5, T6 se neotevře a přes R25 a D10 se na vývod *4* dostane napětí referenčního zdroje a zablokuje řídicí obvod.

Pro práci počítače je nutný signál Power Good (PG). Oznamuje počítači, že zdroj je v pořádku a dává správná napětí. Je nutné, aby tento signál přešel z 0 na +5 V (z log. 0 na log. 1) se zpožděním (po startu zdroje). V počítači je buď přímo nebo přes rezistor spojen se signálem RESET na základní desce. Není-li signál RESET generován pomocí PG, je po zapnutí počítače nutno stisknout příslušné tlačítko.

Ve zdroji je signál PG generován pomocí dvou komparátorů z obvodu LM339. Při startu je prodleva na signálu způsobena nabíjením kondenzátoru C19 přes R38. Napětí se hlídá usměrněním napětím na sekundární straně ještě před výstupní tlumivkou. Amplituda impulsů na sekundární Tr2 je totiž přímo úměrná napětí na primární straně zdroje. Při vypnutí zdroje se zmenšuje amplituda impulsů na sekundární straně zdroje, úměrně tomu, jak se vybíjejí kondenzátory C5 a C6. Výstupní napětí se zatím drží, neboť řídicí obvod prodlužuje šířku impulsů, zmenšuje se však napětí na C18. Zmenší-li se napětí na výstupu děliče R35, R36 pod 2,5 V, překlopí se komparátory a signál PG přeje do log. 0 (0 V) dříve, než zanikne napájecí napětí.

Krátce se zmíním o některých součástkách zdroje. Zdroj je navržen pro výstupní proud 20 A pro +5 V, 8 A pro 12 V a 0,5 A pro napětí -5 a -12 V. Diodový blok BD2 jsou Schottkyho diody se špičkovým proudem 40 A, diodový blok BD3 jsou rychlé diody pro 20 A. Pro usměrnění napětí větve -5 a -12 V jsou použity běžné rychlé diody. V některých zdrojích je napětí -5 V odvozeno z -12 V stabilizátorem 7905. Transformátor Tr1 má feritové jádro EE o straně asi 20 mm, Tr2 má feritové jádro EE o straně asi 40 mm. Konstrukce Tr3 již byla zmíněna, Tr4 je navinut na feritovém toroidním jádře o průměru asi 35 mm.

* * *

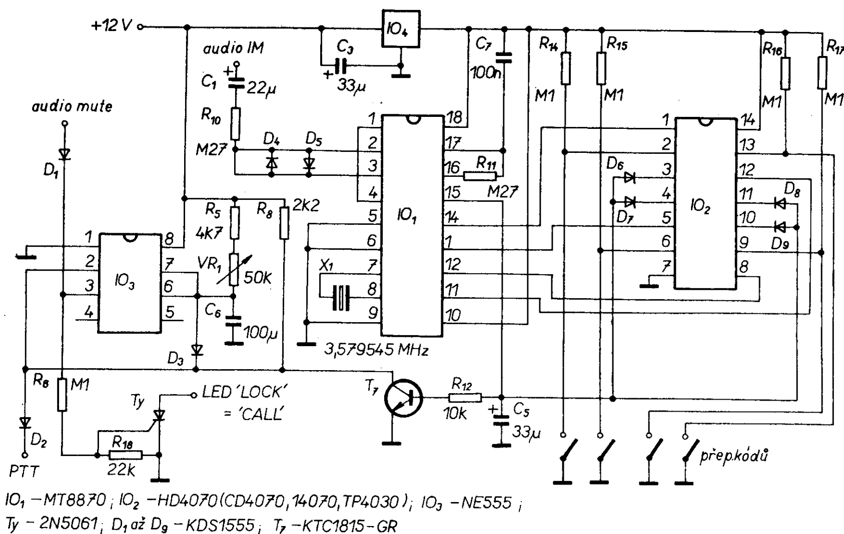
Doufám, že tento popis pomůže zájemcům o problematiku spínaných zdrojů při pochopení jejich činnosti, radioamatérům při konstrukci vlastních zdrojů a servisním technikům při opravách.

OBČANSKÉ RADIOSTANICE CB V PRAXI

Vojtěch Voráček, OK1XVV

(Dokončení z AR B3/94)

Dvojice současně vysílaných tónů je použita proto, aby se na nejmenší míru omezila možnost nežádoucí reakce na rušení náhodnými šumy a modulačními signály jiných stanic. Systém je nazýván DTMF a umožňuje využít 16 znaků (číslice 0 až 9, písmena A, B, C, D, symboly * a křížek). Použit může být jeden znak - po jeho vysílání se protistanice aktivuje, nebo mohou být vysílány např. 4 znaky za sebou v určitém časovém rozpětí a teprve jejich správná kombinace vyvolá u protistanice aktivaci. Otevře se nízkofrekvenční zesilovač a z reproduktoru je po určitou dobu slyšet modulovaný signál, nebo stanice akustickým a optickým návěštím upozorní obsluhu, že někdo volá a vyslal odpovídající kód. Kód se vysílá pomocí akustické vazby mikrofonu s generátorem dvojtónů (tak, jak je tomu u telefonů), nebo je mikrofon či stanice takovým vestavěným generátorem vybavena. Systém využívá speciálního integrovaného obvodu s fázovými závěsy s oscilátorem řízeným krystalem a řadou děličů, které reagují na přítomnost odpovídající dvojice signálů správného kmitočtu. Příslušné dvojici ▶



Obr. 73. Příklad zapojení jednotónové selektivní volby DTMF- Albrecht

tónů pak odpovídá změna stavu na jednom ze 16 výstupů (kombinace čtyř vývodů v kódu BCD) integrovaného obvodu přijímače selektivní volby. Příklady zapojení selektivních voleb jsou na obr. 73 a 74. Vysílač DTMF je pak tvořen programovatelnou děličkou řízenou krystalem.

* * *

Systém selektivní volby lze díky dostupnosti potřebného integrovaného obvodu poměrně snadno realizovat i amatérsky a lze jím radiostanice doplnit, i když za cenu malých komplikací.

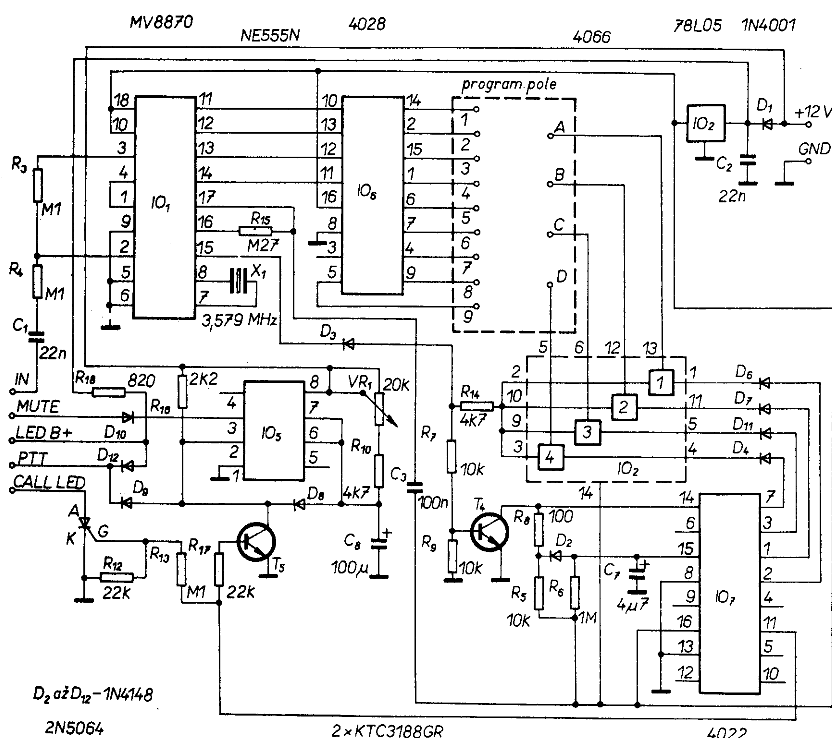
Ostatní systémy selektivní volby

Jiné systémy selektivní volby využívají postupného rychlého vysílání sledu signálů o různých kmitočtech. Tyto kmitočty jsou pak vyhodnoceny v přijímači selektivními filtry s příslušnou logikou. Tento systém selektivní volby je poněkud modernější, rychlejší v obsluze a je využíván i u profesionálních stanic - např. systémy TESLA SELECTIC, DNT 5 CALL PLUS, ZVEI atd. Velmi dobře je tento systém (5 CALL PLUS, kompatibilní s profesionální normou ZVEI) propracován u radiostanice CB DNT ZIRKON (SILVERSTONE). Umožňuje vytvořit systém až 1000 nezávislých sítí uživatelů na jediném kanálu CB, každá síť může mít až 100 účastníků, kteří mohou být navíc zařazeni až do 100 skupin. Programování kódu jednotlivé radiostanice (zařazení do dané sítě, uživatelské číslo a číslo skupiny) je velmi přehledné a rychlé. Vybraný účastník se volá stiskem tlačítka selektivní volby na mikrofonu. Radiostanice Zirkon má i zpětnou kontrolu uskutečněné výzvy a akustickou indikaci volání. Na displeji volané radiostanice se zobrazí i účastnické číslo stanice, která volala (pro případ, že obsluha není právě přítomna na místě a přijde později - je ihned informována, kdo volal a může volat zpět). Lze volat současně i všechny účastníky, zařazené v dané skupině a toto volání je rozlišeno jiným akustickým a optickým signálem. Systém je velmi spolehlivý, rychlý a uživatelsky přístupný. Je zajímavé, že spolehlivého přenosu kódu volby je dosaženo i za mezních podmínek, za nichž je běžná řeč již těžko srozumitelná. Systém je řízen jednoúčelovým integrovaným obvodem LSI a spolupracuje s řídicím procesorem stanice. Na obr. 75 je příklad obvodu selektivní volby 5-CALL PLUS, použitý v radiostanici DNT SILVERSTONE - ZIRKON.

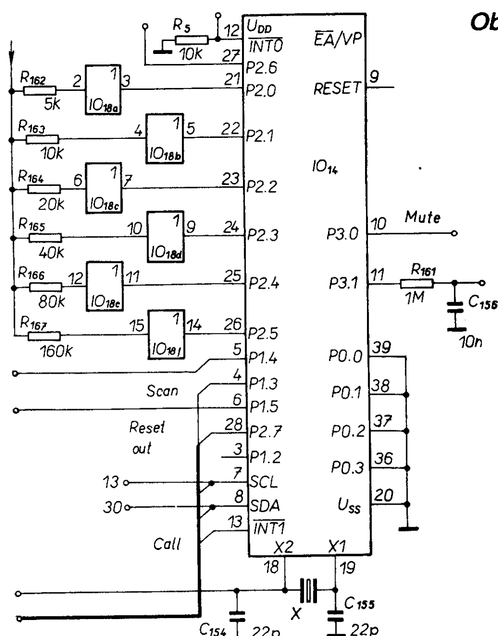
Selektivní volba CTCSS - TONE SQUELCH

Tento systém velmi zvětšuje užitnou hodnotu radiostanic obecně a nelze si bez něho představit síť profesionálních stanic v pásmech VKV. Systém se používá i pro aktivaci převáděčů (v zámoří i amatérských pro pásma 2 m a 70 cm). Poprvé byl systém aplikován u radiostanic CB firmy DNT. Firma použila modul volby CTCSS podle anglického CONTINUAL TONE CODE SQUELCH SYSTEM, tedy pracuje s nepřetržitým tónem při vysílání, jak název napovídá. V profesionální praxi bývá také někdy systém nazýván CODE GUARD.

Systém pracuje takto: Představme si, že k modulačnímu signálu z mikrofonu (řeč) u vysílače přimícháme přibližně sinusový signál o přesném kmitočtu, který leží pod přenášeným akustickým pásmem.Tento signál má poměrně nízkou úroveň (asi – 20 dB), nízký kmitočet (67 až 250 Hz) a je na přijímací straně vyfiltrován, takže není prakticky v reproduktoru přijímací stanice slyšitelný. V přijímací stanici je opět vyhodnocovací obvod s děličkou a fázovým závěsem s kmitočtovým

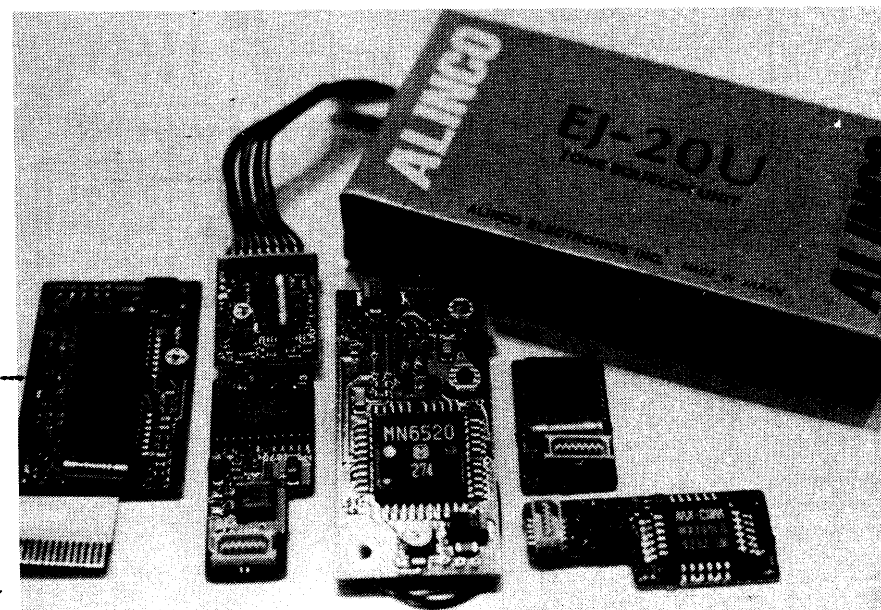


Obr. 74. Zapojení čtyřtónové selektivní volby DTMF - Albrecht



Obr. 75. Schéma obvodu selektivní volby DNT 5-CALL PLUS

Obr. 76 Moduly volby CTCSS



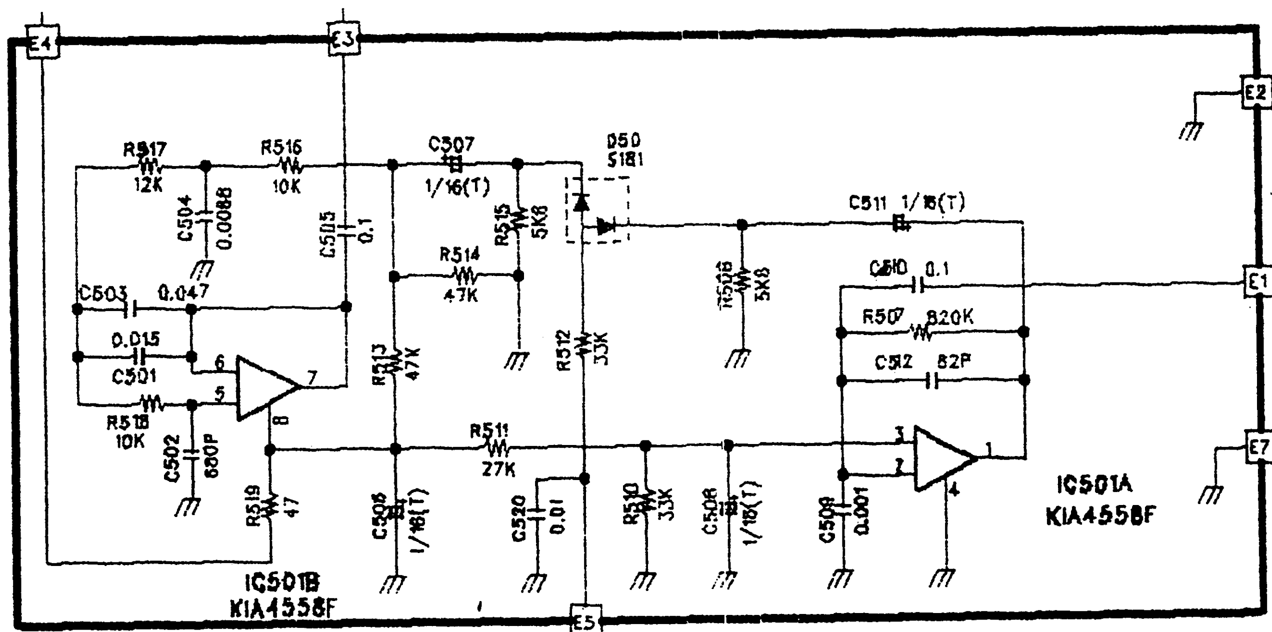
komparátorem, který přítomnost tohoto signálu vyhodnotí a v případě přítomnosti tónu CTCSS „otevře" nf cestu k zesilovači a reproduktoru, tedy vlastně šumovou bránu. Šumová brána je v nepřítomnosti tohoto signálu zcela zavřena. Proto se systém také někdy nazývá TONE SQUELCH. Kmitočet těchto „subakustických" signálů je normalizován od 67 Hz do 250,3 Hz (celkem 38 pevných přesných kmitočtů - u profesionálních zařízení i více) - generovaných děličkou řízenou krystalem a tvarovaných články *RC*. Jednotlivé kmitočty lze zvolit - naprogramovat. Na jednom kanále tedy může pracovat až 38 sítí účastníků, kteří se vzájemně neslyší, pokud mají naprogramován rozdílný kmitočet tónu CTCSS oproti jiným uživatelům.

Systém je velmi rychlý při obsluze - není třeba vysílat před relací žádný kód a obvod přijímače reaguje na přítomnost správného signálu CTCSS téměř okamžitě. U stanic, resp. sítí, které jsou vybaveny touto volbou, lze zcela odstranit manipulaci s ovládacím prvkem šumové brány, která přece jen vyžaduje od obsluhy jistý technický cit.

Systém využívá opět speciálních integrovaných obvodů, které jsou však poměrně drahé a špatně dostupné. Předpokládá se spolupráce s řídicím mikroprocesorem radiostanice.

Na obr. 76 jsou vyobrazeny některé moduly volby CTCSS, které lze vestavět do přístupných radiostanic, jež jsou pro aplikaci tohoto systému připraveny.

Na závěr je pro seznámení s obvodovým řešením radiostanic CB uvedeno několik schémat zapojení typických osvědčených a rozšířených CB.



Mikrofonní zesilovač stanice ELIX Dragon SY - 101

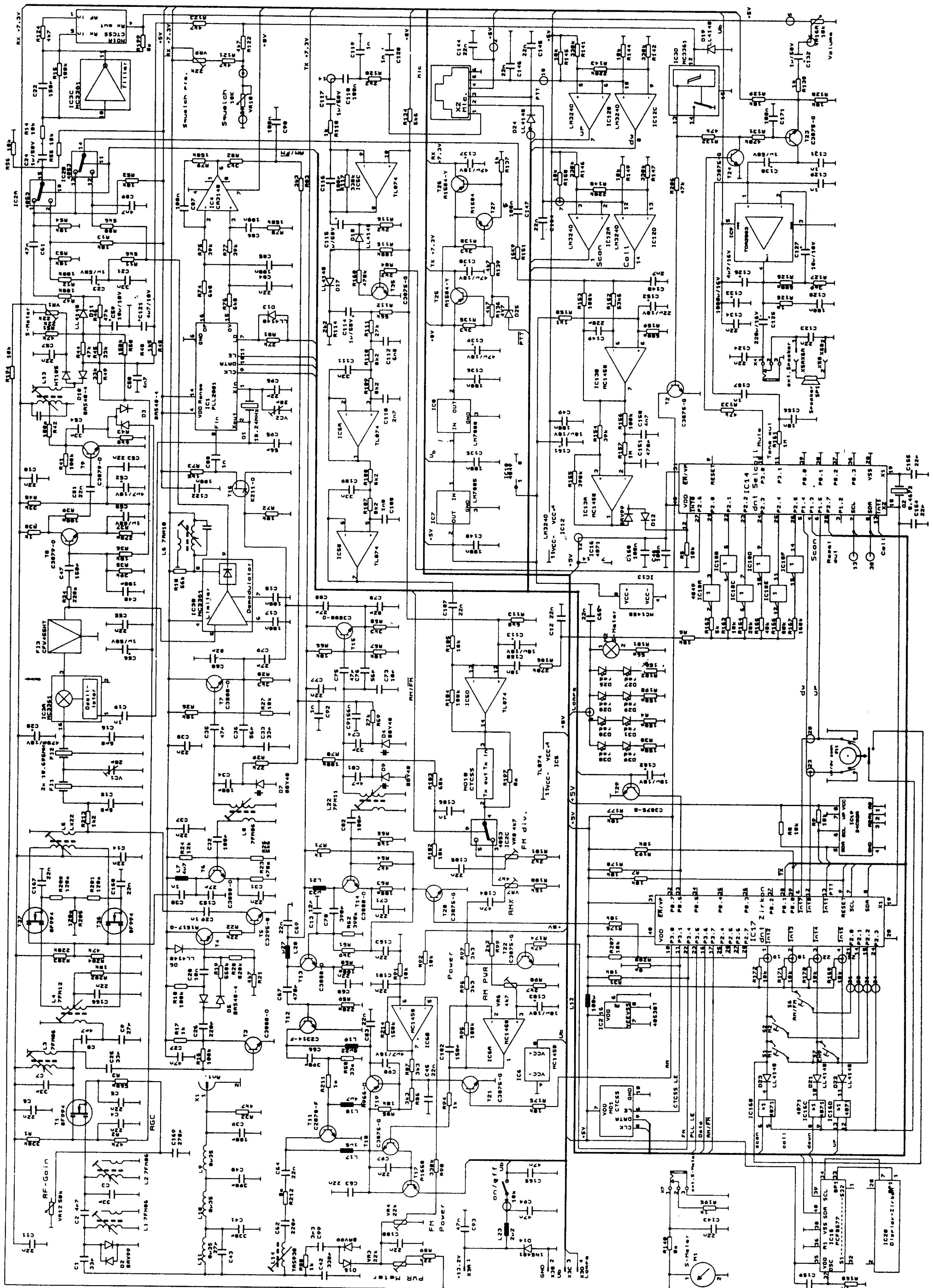
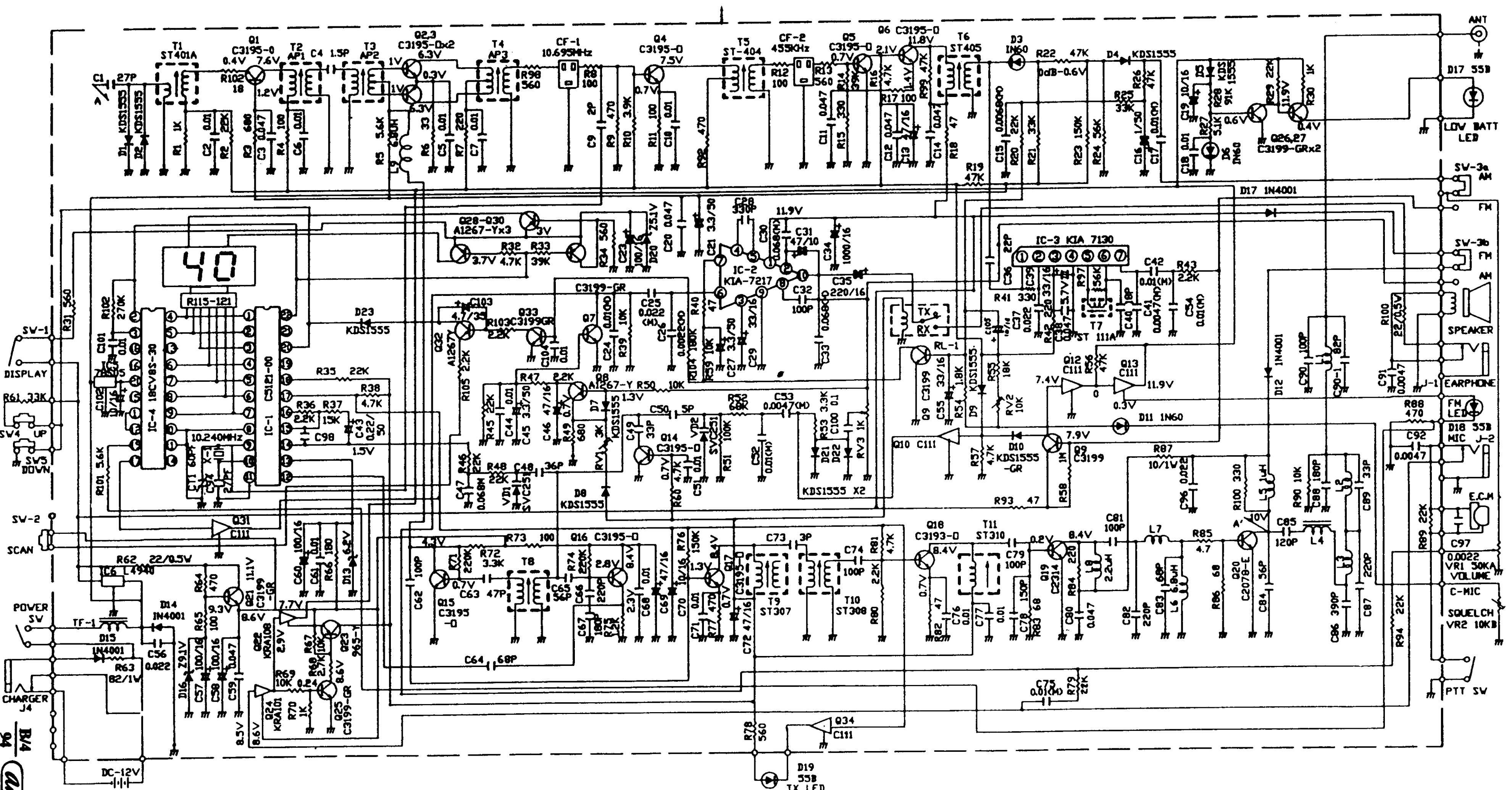


Schéma zapojení radiostanice DNT ZIRKON



Ruční radiostanice Albrecht AE 2200

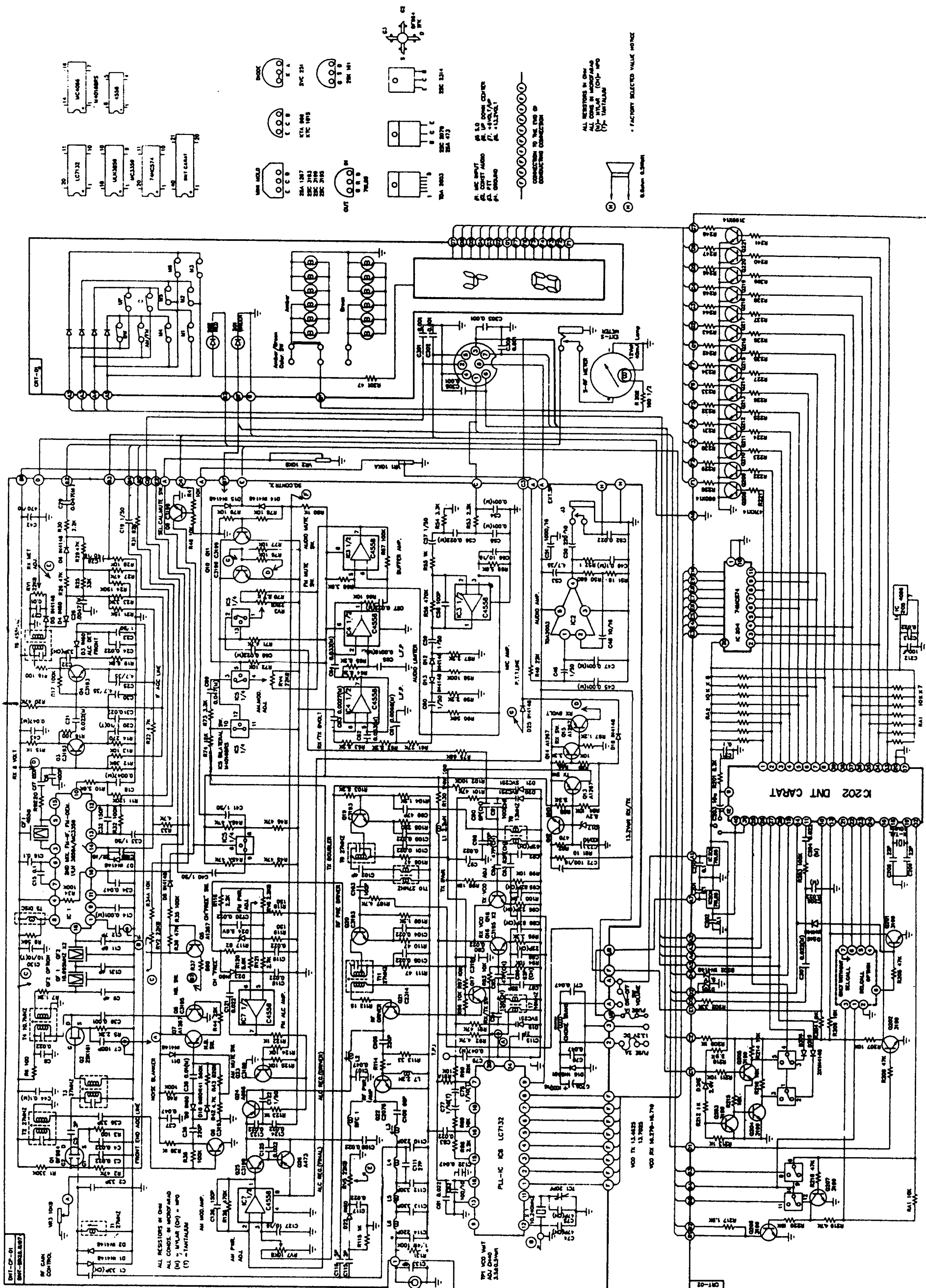


Schéma zapojení radiostanice DNT CARAT

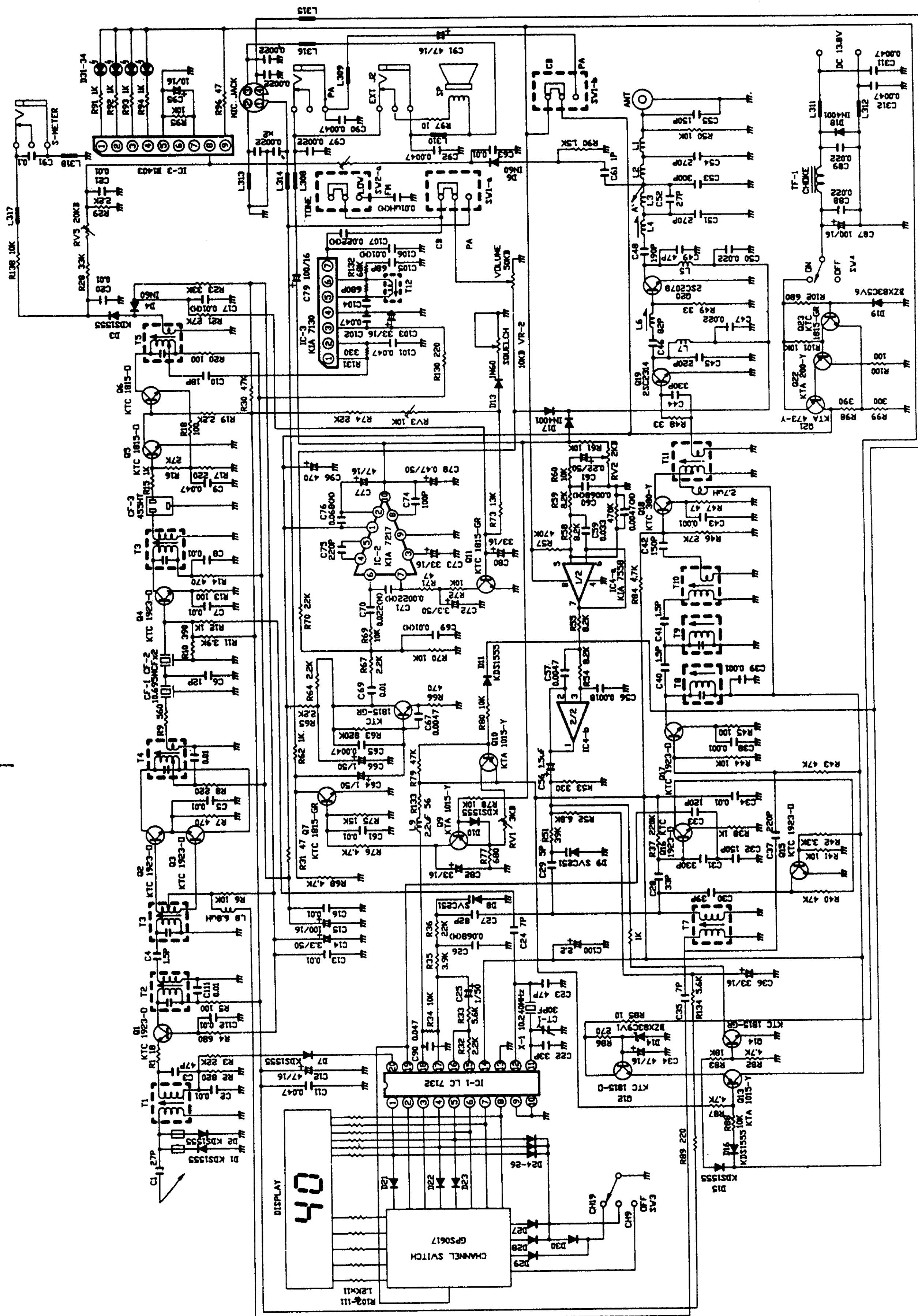
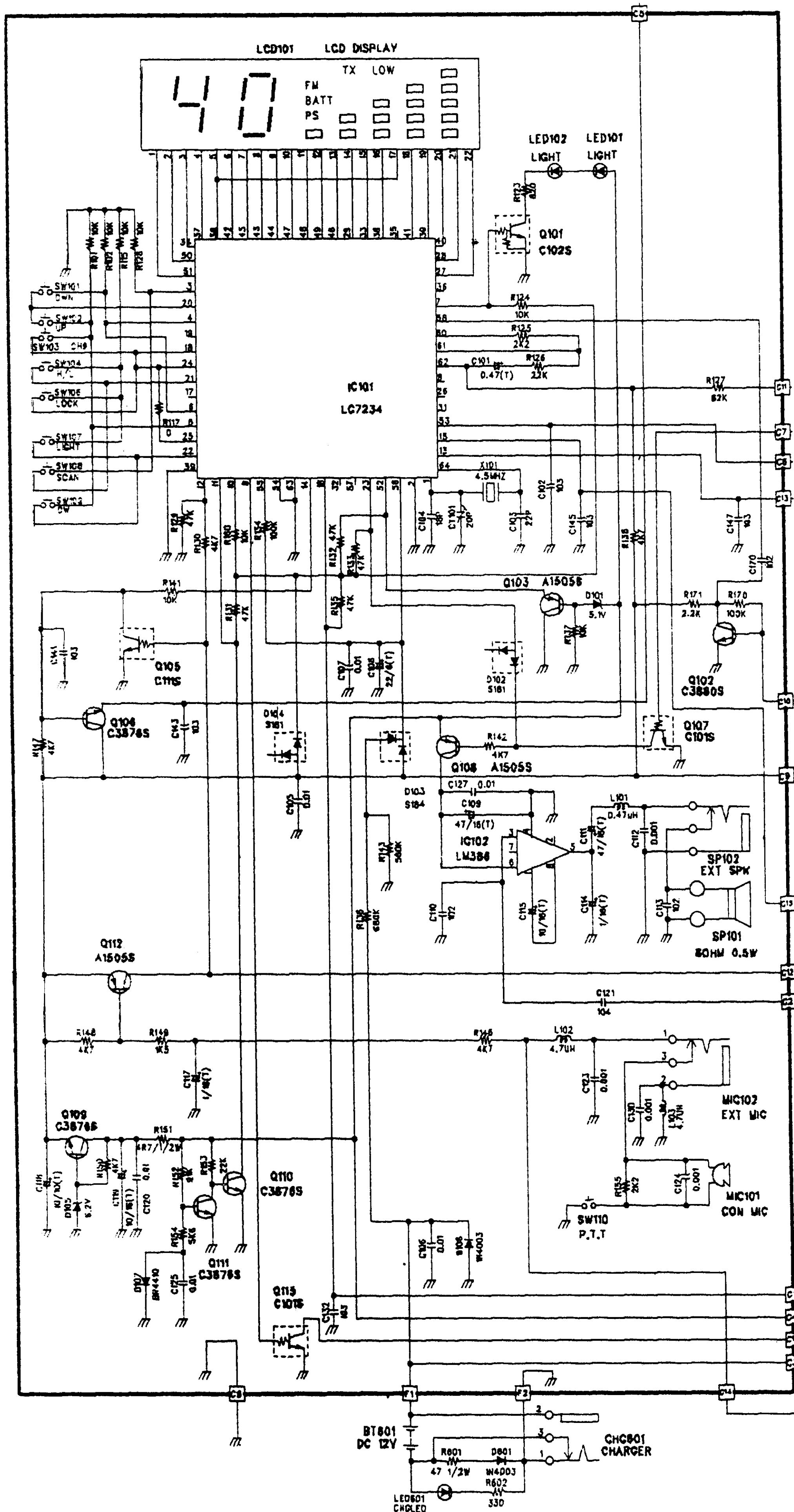


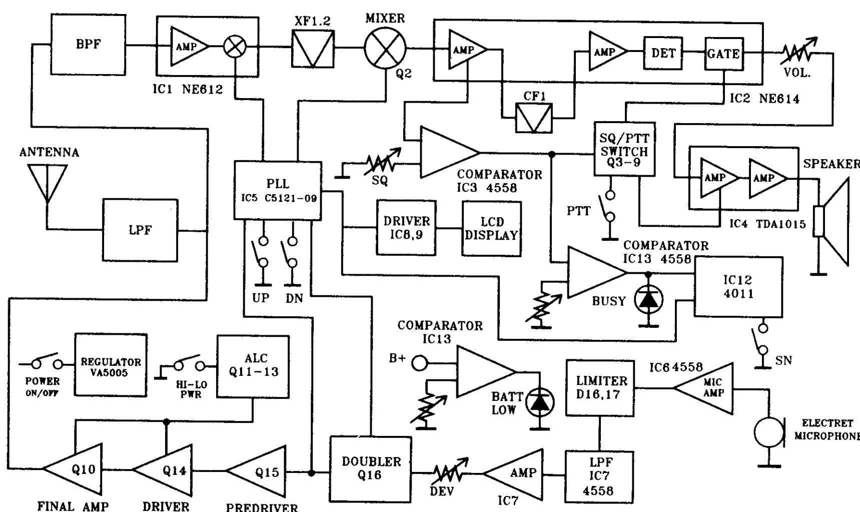
Schéma zapojení vozidlové radiostanice PAN Mini Top

Vozidlová radiostanice Carat - Export

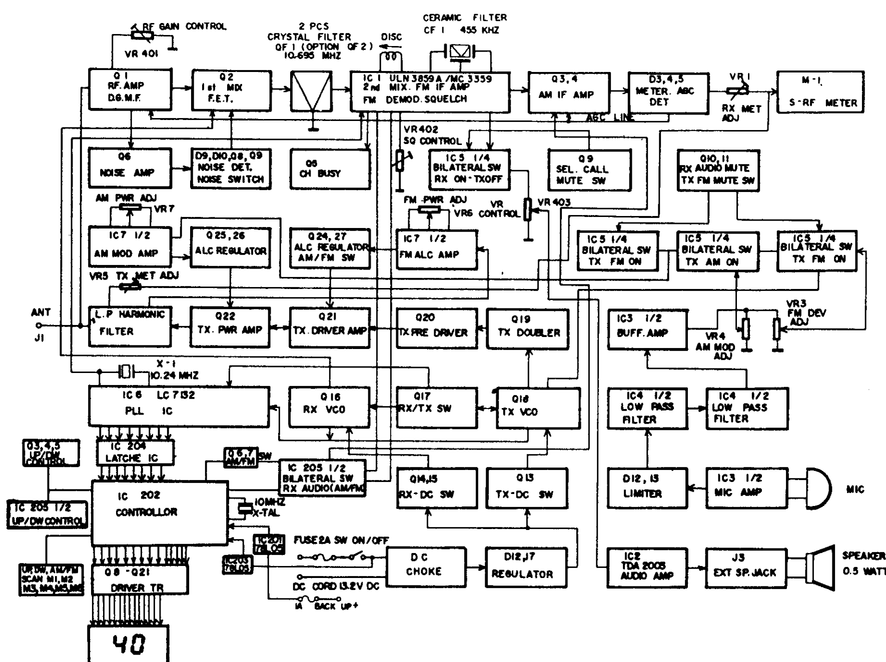


Ovládací díl ruční radiostanice Elix Dragon SY - 101

A zcela na závěr pro srovnání ukázka blokových schémat dvou odlišných (svou složitostí) radiostanic CB:



Blokové schéma radiostanice TWIN 40



Blokové schéma radiostanice DNT Carat

Literatura

Žalud, V. : Vysokofrekvenční přijímací technika. SNTL: Praha 1986.

Macoun, J. : Antény, souosé kabely a konektory. AR B1/1994.

Rubrika CB (pravidelně v AR řady A).

Firemní podklady k prodávaným radiostanicím CB.

INZERCE

Inzerci přijímá osobně i poštou vydavatelství
Magnet - Press (inzerce ARB),
Jungmannova 24,
113 66 Praha 1,
tel. (02) 24 22 73 84,
(02) 24 22 77 23,
tel./ fax (02) 24 22 31 73.

Uzávěrka tohoto čísla byla 7. 6. 1994, do kdy jsme museli obdržet úhradu za inzerát.

Cena za první řádek činí 44,-Kč, za každý další i započatý 22,-Kč. Platba je včetně daně z přidané hodnoty. Cena za plošnou inzerci se řídí velikostí, za 1 cm² plochy je 29,-Kč, k ceně se připočítává 23% DPH. Nejmenší velikost plošného inzerátu je 54x40 mm. Za opakovanou inzerci poskytujeme slevy.

Texty pište čitelně, nejlépe na stroji nebo hůlkovým písmem, aby se předešlo chybám, vznikajícím z nečitelnosti předlohy.

PRODEJ

Vojenský radiovůz T805 kompletní. Tel. (0368) 94145 večer.

KOUPĚ

1000 Kč i více dám za kompletní německou leteckou kuklu - síťovanou, koženou, plátěnou. Dále samostatné krční mikrofony a sluchátka. Tel. (02) 26 38 03.